

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Opravy lehkých poškození potahových desek draku letounu

Repairs of light damage of aircraft's fuselage panels

Student:

Petr Jaroš

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Kolarczyk

Ostrava 2010

Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Jaroš**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3708R028 Technologie dopravy
Specializace: 70 Technologie údržby letecké techniky
Téma: **Opravy lehkých poškození potahových desek draku letounu**
Repairs of Light Damage of Aircraft's Fuselage Panels

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl práce.
2. Stávající systém vyhodnocení defektů při opravách draku letounu.
3. Možnost využití NDT při analýze poškození.
4. Metody a technologie oprav draku a vyhodnocení jednotlivých poškození.
5. Ekonomické hodnocení.
6. Závěr.

Minimální rozsah BP je 30 stran textu (obrázky, tabulky, grafy a přílohy se do tohoto rozsahu nepočítají) práce musí v rámci úvodu obsahovat kapitolu se stanovením cílů práce a v závěru zhodnocení dosažených cílů.

Seznam doporučené odborné literatury:

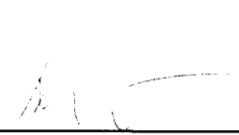
Aircraft Maintenance Manual (AMM) - B - 737, Saab 340/2000
Aircraft Illustrated Part Catalog (AIPC) - B - 737
Nondestructive Test Manual - Document DG - 37239
Bernard Kopec a kol. - Nedestruktivní zkoušení - 2008 - akademické nakladatelství CERM sro.
Defektoskopie v otázkách a odpovědích - 1989 - SNTL
Structural Repair Manual (SRM) Document D6 - 37635

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Kolarczyk**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



doc. Ing. Vladimír Štárl, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, же Высoкá школа ба́нская – Техни́кая универзита Ostrava (дále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было сjeднáно, же с VŠB-TUO, в пpипаде́ зájму з její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- было сjeднáно, же užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, же odevздáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :

.....

podpis

Petr Jaroš

Stará Huť, Družstevní 251, 26202

Anotace bakalářské práce

Jaroš P. Opravy lehkých poškození potahových plechů letounu: bakalářská práce

Ostrava: VŠB – Technická univerzita, Fakulta strojní, Institut dopravy 2010,

stran 104

Vedoucí práce Kolarczyk, P.

Bakalářská práce se zabývá problematikou detekce, návrhem vyhodnocení a opravy drobných poškození potahových plechů letounu. Je zde popsán stávající způsob vyhodnocování a oprav těchto poškození (zadaných výrobcem tj. firmou Boeing a Moravan Otrokovice Zlín). Dále je zde představena technologie PDR a popis její aplikace na poškození, která byla vytvořena na zkušebním vzorku a testována pomocí NDT, pro ověření kvality použité technologie. V závěru je celkové vyhodnocení práce jak z finančního a časového hlediska tak i hlediska aplikace technologie PDR a úspěšnosti opravy touto technologií.

Annotation of bachelor thesis

Jaroš P. Repairs of light damage of aircraft's fuselage panels: bachelor thesis

Ostrava: VŠB – Technical University, Faculty of Mechanical Engineering,

Institute of Transportation 2010, pages 104

Bachelor's thesis supervisor Kolarczyk P.

The thesis is aimed at the issue of detection, proposal for evaluation and repair of the small covering metal plate damages of a plane. Firstly, the thesis is focused on the method of evaluation and damage repair, provided by the producer like Boeing and Moravan Otrokovice Zlín. Secondly, the project attends to present the PDR technology (*Paintless Dent Removal*) including its application in the process of damage removal. Quality of the applied technology has been proved by NDT (*Non-destruction testing*) of the sample metal plate. Purpose of the thesis is to analyse the operation from both points of view, finance and time. Of course the possibility of application and repair effect are very important aspects required for the PDR technology evaluation as well.

OBSAH

	Seznam zkratk.....	7
	Seznam cizích výrazů.....	8
1.	Úvod.....	9
2.	Cíl práce.....	10
3.	Poškození potahových panelů.....	11
	3.1. Příčina vzniku dentu.....	13
	3.2. Vyhodnocení dentů.....	14
	3.2.1. NDT.....	18
	3.2.2 Použité technologie.....	18
	3.3. Opravy dentů.....	23
4.	Aplikace technologie PDR.....	25
	4.1. Popis technologie PDR.....	25
	4.2. Zkušební vzorek.....	31
	4.3. Postup práce.....	32
	4.3.1 – 4.3.8 Popis jednotlivých operací.....	33
	4.3.9 Detekce a vyhodnocení trhliny.....	48
5.	Zhodnocení cílů.....	50
6.	Závěr.....	52
7.	Seznam použité literatury.....	53
	Poděkování	54
	Seznam příloh.....	55

Seznam zkratek

Zkratka	Český název	Anglická název
NDT	Nedestruktivní testování	Non-destruction testing
PDR	Oprava dentu bez lakování	Paint less Dent Removal
ČSN	Český fond norem	
SRM	Konstrukční opravárenská příručka	Structural Repair Manual
CEAM	Centrální Evropská letecká opravna	Central Europe Aircraft maintenance
PVC	Polyvinylchlorid	Polyvinylchlorid
UV	Ultrafialové	Ultraviolet
AMM	Aircraft Maintenance Manual	Příručka pro údržbu letadla
AIPC	Aircraft Illustrated Part Catalog	Obrazový katalog dílů

Seznam cizích výrazů

Výraz	Vysvětlení
Pullmbond	Speciální přísavka pro technologii PDR
Boeing	Výrobce letadel a letecké techniky
Diskontinuita	Nesouvislost či nesourodost
Echogram	Obraz struktury zprostředkovaný ultrazvukem
Karbon	Uhlík (nejčastěji používaný ve formě kompozitu)
Kevlar	Syntetický materiál s vysokou pevností a teplotní stabilitou
Feromagnetizmus	Způsobuje magnetizaci a magnetickou vodivost materiálů
Penetrant	Látka se schopností pronikat i mikro trhlinami
Reverzní	Vratný nebo-li protisměrný
Cleaner	Čistič, odmašťovač
Fluorescence	Druh vyzařování světla, dochází k němu jen pokud je buzena
Developer	Vývojka
Emlugátor	Látka tvořící film na rozhraní mezi dvěma kapalinami
RenoveCars	Společnost zabývající se opravami vozidel metodou PDR
Eroze	Vymílání a obrušování povrchu proudem vzduchu či kapaliny.

1. Úvod

Sny člověka o volnosti a vznášení se v oblacích jsou známy už tisíce let a jsou zmíněny již v odkazech mnoha starověkých civilizací. Snaha člověka překonat bariéru zemské přitažlivosti je součástí dějin lidstva. Byla to dlouhá a trnitá cesta, která byla lemována velkou řadou neúspěchů, v jejichž stínu byl každý úspěch, byť sebemenší, obrovským skokem kupředu. Již od prvních modelů létajících strojů, známých ze starověké Číny spíše jako dětské hračky, přes studie a modely Leonarda da Vinci až k prvnímu letu bratří Wrightů s jejich letounem Flyer I.

Technický pokrok, který se nezadržitelně řítí vpřed, se nevyhnul ani letectví, ať už vojenskému či civilnímu. Touhy a sny, které se kdysi zdály lidem jako nedosažitelné a neuskutečnitelné, se začaly stávat skutečností, samozřejmostí a běžnou součástí jejich všedních životů. Důsledkem byly zvyšující se nároky na letecký průmysl a leteckou přepravu vůbec. Tím vlastně začal onen pověstný závod v letecké dopravě. Nyní již nebylo důležité kdo vzlétne jako první, ale kdo poletí rychleji, výše a levněji. Tím bohužel prvotní myšlenka snu o létání zanikla. Musíme si však uvědomit, že je to již více než sto let od doby, co byl uskutečněn první řízený let.

Létání se tedy stalo komerční záležitostí, v neposlední řadě i velmi výdělečnou či prodělečnou činností. Spolu s komercializací létání se stala nedílnou součástí problematiky také otázka údržby letecké techniky včetně zajištění bezpečnosti cestujících a posádky, která je ostatně samozřejmostí. Důraz kladený na bezpečnost letecké přepravy vyplývá jak z přirozeného požadavku vyhnout se riziku ohrožení života osob na palubě, tak z hledisek ekonomicko-obchodních a rovněž také z předpisů pro letovou způsobilost. Neustálé zvyšování přepravních kapacit v dopravních letadlech má samozřejmě za důsledek i vyšší počet obětí případné letecké katastrofy. Každá taková katastrofa je obrovskou tragédií nejen z hlediska etického, ale promítá se do celkového názoru na leteckou dopravu a především přímo do vztahu cestujících vůči výrobci letadel a letecké společnosti.

2. Cíl bakalářské práce

Cílem této práce je představit technologii PDR a aplikovat ji na opravu lehkých poškození kovových potahových plechů, ke kterým může dojít v běžném leteckém provozu ve vzduchu, na zemi i v opravárenském zařízení. Technologie PDR - *Paintless Dent Removal*, je s velkým úspěchem používána v automobilovém průmyslu a blíže je popsána v následující práci.

V přímé souvislosti s aplikací technologie PDR se tato práce věnuje také prezentaci metody NDT - *Non-destruction testing*, která je při práci na projektu využita. V neposlední řadě se práce zabývá vzájemným porovnáním účinnosti a přesnosti jednotlivých technologií NDT, které slouží pro detekci trhlin, s cílem snížit náklady a čas potřebný k vyhodnocování poškození.

Práce si klade za cíl ověřit, zda by bylo finančně a časově výhodnější nahradit stávající technologie užívané při vyhodnocování a opravách lehkých poškození plechových potahových panelů technologií PDR, a to společně s mým návrhem systému vyhodnocování poškození za pomoci technologií NDT.

3. Poškození potahových panelů

Poškození potahového panelu je stav, kdy je narušen původní tvar nebo celistvost či snad dokonce konstrukční provedení tohoto panelu. Poškození lze rozdělit do několika skupin a to podle druhu materiálu, ze kterého jsou vyrobeny potahové panely, podle lokalizace a podle velikosti či stupně vážnosti.

Podle materiálu rozdělujeme potahové panely na: panely z kompozitních materiálů,
panely z kovových materiálů,
panely z kombinací obou druhů.

Rozdělení podle lokalizace, jak název napovídá, je určeno místem výskytu daného poškození na letounu, nejčastěji bývají rozděleny na: přetlakové,
nepřetlakové,
s požadavkem aerodynamicky čisté.

Dále pak rozdělení podle velikosti či stupně vážnosti poškození, toto rozdělení leze velmi těžko specifikovat. Jedná se různé deformace typu: důlky, rýhy, vrypy všech velikostí a tvarů, až po protržení potahového panelu. Proto zde uvádím rozdělení poškození předepsané společností Boeing:

- a) Otěr: poškozené oblasti jsou výsledkem vydírání, otěru nebo jiné povrchové eroze.
Tento druh poškození je obvykle hluboký a má nepravidelný tvar.
- b) Koroze: je výsledkem složité elektrochemické činnosti a zmenšuje znatelně průřez.
Tento typ poškození se vyskytuje na povrchu, kontrolních otvorech nebo na okraji konstrukčních částí.
- c) Trhlina: částečný nebo úplný zlom v materiálu, který významně nemění průřez. Toto poškození má obvykle nepravidelné tvar a je často důsledkem únavy v materiálu.
- d) Pomačkání: poškozené plochy, které jsou zploštělé nebo narovnané zpět, tak že je její hrana ostrá, zdeformovaná nebo se zvrásňuje.

- e) Odlepení: typ poruchy, která se vyskytuje mezi sousedními vrstvami materiálu.
- f) Dent - důlek: poškozená oblast, která je vytlačena mimo její obvyklý obrys, kde nedošlo ke změně průřezu materiálu a hrany poškozené oblasti jsou hladké.
- g) Rozlepení: nastane, když dojde k rozdělení mezi dvěma nebo více lepenými vrstvami nebo materiály.
- h) Rýha: jde o poškozené oblasti, kde je změna průřezu způsobená ostrými předměty a zanechává trvalé, ostré nebo hladké drážky v materiálu. Toto poškození je nejčastěji způsobeno ostrými předměty.
- i) Díra: proděravěná nebo protřžená plocha, která je plně obklopen nepoškozeným materiálem.
- j) Vrub: místní s ostrými vrypy.
- k) Prasklina: je poškození, které je skrze celou tloušťku a nemá pravidelný tvar. Například může nastat ostrými předměty.
- l) Poškrábání: linie poškození materiálu, jejímž důsledkem se změní průřez. Toto poškození je obvykle způsobeno kontaktem s velmi ostrým předmětem.

Já se v této práci budu dále zajímat pouze o DENTY neboli důlky - obrázek 3.1. Tyto denty jsem nafotil na několika různých letounech, které jsou zařazeny v běžném leteckém provozu.

Dent: poškozená oblast, která je vytlačena mimo její obvyklý obrys, kde nedošlo ke změně v oblasti příčného průřezu materiálu a hrany poškozené oblasti jsou hladké. Délka dentu je nejdelší vzdálenost z jednoho konce na druhý a šířka dentu je pak druhá nejdelší vzdálenost přes dent, měřeno 90° ke směru délky.



Obrázek 3.1: Dent na okrajové nádrži a aerodynamickém zakončení křídla

3.1 Příčina vzniku dentu

Tak zvaný dent je nejčastějším případem poškození týkající se potahových panelů. Tyto poškození bývají z pravidla na okrajových částech křídel letounu, ať už hlavních nosných ploch nebo vodorovného či svislého stabilizátoru. U křídel jsou nejvíce ohroženy aerodynamická zakončení křídel, okrajové nádrže, náběžné hrany a v neposlední řadě odtokové hrany - obrázek 3.1. Denty na těchto místech bývají nejčastěji způsobeny neopatrnou manipulací s letouny na zemi, jak na ploše tak především v hangárech. Nesmíme však opomenout i případy, jako jsou střety s ptáky, nebo situace kdy při vzletu či přistání dojde k odmrštění hrubých nečistot, ze vzletové a přistávací dráhy nebo povětrnostní vlivy.

Podobné denty mohou vzniknout také na jiných částech letounu než na okrajových částech křídel a stabilizátorů. Jedná se zejména o poškození potahového panelu z vrchní strany křídla a v některých případech i na trupu – obrázek 3.2. V menší, ale ne zanedbatelné míře, jsou ohrožena také žebra, přepážky či pásnice a jiné konstrukční prvky, které jsou s potahem pevně spjaty nebo se nacházejí v jeho těsné blízkosti. K tomu dochází při neopatrném a nesprávném nastupování a vystupování posádky a cestujících, při neopatrné manipulaci s obslužným zařízením, při tankování pohonných hmot či přímo v opravárenském procesu, při nedodržení správných postupů pro manipulaci s náradím a nástroji. Nesmíme také opomenout povětrnostní vlivy, jako jsou kroupy či dokonce ve větru poletující větve nebo jiné předměty. V každém z těchto případů se musí jednat o dent v takovém smyslu v jakém je definován.

Tyto druhy poškození mohou nastat jak na letounech z kovovou tak i s kompozicovou konstrukcí nebo jejich kombinací. I přesto, že tato poškození mohou vzniknout a vypadat téměř identicky, technologie pro jejich opravy je zcela odlišná.



Obrázek 3.2: Dent na hřbetu profilu křídla.

3.2 Vyhodnocení dentů

V oblasti údržby letadel, je výrobcem daného typu letounu stanoven předpis pro vyhodnocování poškození potahových panelů draku letounu a jejich opravy. Dent jak jsem již výše zmínil, je promáčknutí potahového plechu a tím narušení původního tvaru potahového panelu. A tudíž se při jeho vyhodnocování nepředpokládá se závažnějším poškozením potahového panelu (jako jsou vrypy, rýhy, trhlina či protržení) nebo snad poškozením některých konstrukčních částí (jako jsou přepážky, žebra, nosníky a pásnice). Vyhodnocování dentů na letounech lze rozdělit do dvou základních kategorií a to na letouny s nepřetlakovým a s přetlakovým prostorem cestujících, posádky a zavazadel.

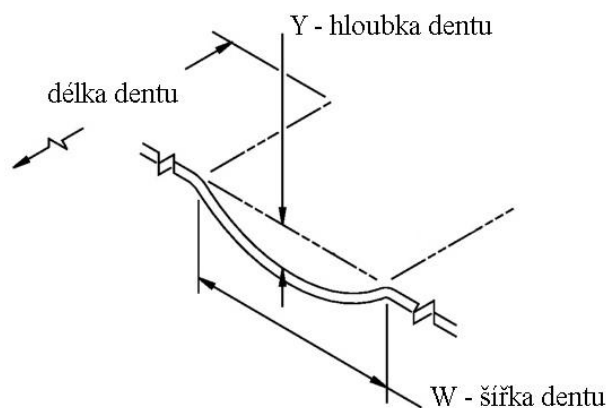
Letouny nepřetlakové konstrukce mají nižší nároky na těsnost a citlivost potahových panelů než letouny s přetlakovou konstrukcí, u nichž je zapotřebí zajistit dostatečnou těsnost s ohledem na zaručení udržení stálého přetlaku v kabině posádky, cestujících či zavazadlového prostoru. Tudíž se na tyto letouny vztahují jiné předpisy a požadavky s ohledem na vyhodnocování dentů, než na letouny s přetlakovou konstrukcí. Musíme však brát v potaz také aerodynamickou čistotu, která je v případě vytvoření jakkoliv velkého dentu na potahovém panelu, více či méně narušena a to zejména u letounů menší velikosti kde je na aerodynamickou čistotu kladen velký důraz s ohledem na velikost tzv.

vztlakových ploch. V kritických případech může tudíž dojít například k odtržení proudícího vzduchu v okolí profilu křídla či ocasních ploch a tím následnému narušení vztlaku, což by mohlo mít za důsledek komplikace při řízení letu nebo způsobení nehody.

Jako příklad zde uvádím systém vyhodnocení dentů plechových potahových plechů pro letoun Boeing 737 – 700 NG, který je podrobně obsažen v SRM (Structural Repair Manual) a zároveň zde uvádím systém pro vyhodnocování poškození – dentů plechových potahových plechů pro letoun Zlín Z 142, jelikož z toho to letounu jsem použil část křídla jako zkušební vzorek pro svou práci.

Boeing

Systém vyhodnocení se skládá z několika po sobě jdoucích operací. Nejprve je zapotřebí dent nalézt a viditelně jej označit a očíslovat, nejlépe zakroužkovat fixem a popsat nebo označit barevnou lepicí páskou s příslušným pořadovým číslem. Následuje určení rozměrů dentu což se provádí následovně: Nejprve se změří délka dentu, za délku se považuje nejdelší část dentu bez ohledu na směr, poté se změří šířka, ta je kolmo na délku a poté se změří jeho hloubka - obrázek 3.3. Všechny tyto údaje se zaznamenají do předem připravené tabulky nebo na lepicí štítek vedle dentu. Za určující faktor přípustnosti dentu se bere poměr mezi šířkou a hloubkou dentu.



W/Y - musí být 30 nebo vyšší ve všech
místech dentu

Obrázek 3.3: Měření dentu

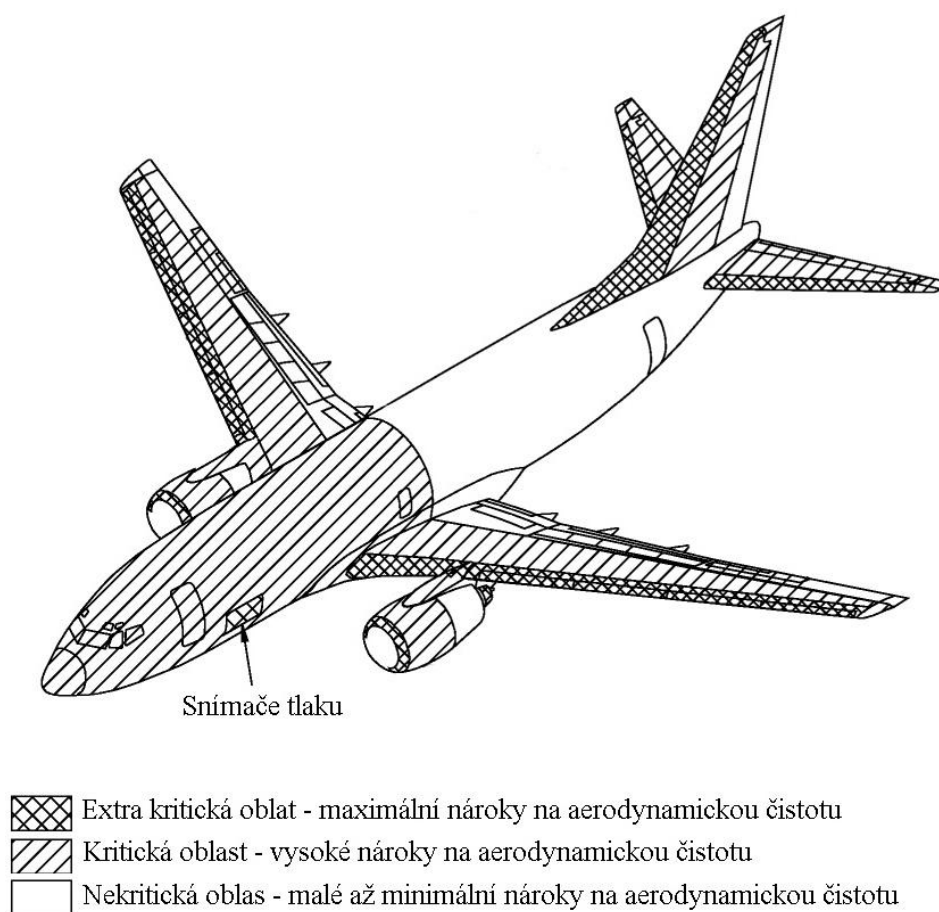
Vyjde-li poměr mezi šířkou a hloubkou dentu číslo 30 a vyšší a pokud se nenechází v dentu vryp, vrub, díra, koroze anebo podobně, je dent s ohledem na rozměry považován za přípustný. Ještě je zapotřebí určit v jaké oblasti se den nachází. Jelikož je dent definován

jako promáčklina bez zvěně ostrých hran, vrypů a podobných vad, je brán hlavně jako poškození ovlivňující aerodynamickou čistotu, proto se jejich výskyt rozděluje do tabulek podle následujícího schématu - obrázek 3.4

Extra kritická oblast: zde musí být denty bez výjimky odstraněny, pokud to nelze zajistit navrácením potahového panelu do původního tvaru je nutná jeho výměna

Kritická oblast: zde musí být denty odstraněny, pokud to nelze zajistit navrácením potahového panelu do původního tvaru, lze je vyplnit tmelem nebo vytvořením záplaty

Nekritická oblast: zde se denty neodstraňují, pokud splňují podmínky předepsané výrobcem letounu.



Obrázek 3.4: Vyznačení oblastí v závislosti na aerodynamické čistotě

Vyskytne-li se dent, který nesplňuje podmínky ať už z hlediska rozměrů či celistvosti potahového plechu, přichází na řadu prověřování dentu pomocí NDT. Pokud dent nesplňuje rozměrová kritéria a neobsahuje žádné vrypy, vruby, škrábance, díry, rýhy nebo podobné viditelné narušení, musí se otestovat na případný výskyt trhlin, prasklin a zbývající tloušťku plechu. Jsou-li výsledky těchto zkoušek v normě, je po konzultaci s výrobcem určen přesný postup a časové či cyklické intervaly pro následné kontroly jednotlivých dentů. Denty, které obsahují nejruznější vady typu: vrypy, vruby, rýhy a podobně, se nejprve zabrousí, aby se tyto vady odstranily a poté se pomocí NDT změří zbývající tloušťka potahového plechu zda je v limitu, který předepisuje výrobce a zda tyto vady nezapříčinily vznik trhlin. Dojde-li k takovému zeslabení nebo nálezu trhlin, které je mimo limity udávané výrobcem, musí být tento dent opraven jinak než zabroušeím.

Moravan Otrokovice

Systém vyhodnocení dentů u takto malých letadel je značně jednodušší a rychlejší než u velkých dopravních letadel, s ohledem na velikost plochy potahu, ale oproti dopravním letadlům jsou vystaveny většímu nebezpečí vzniku dentů a to díky jejich provozu na sportovních letištích a létání ve výrazně nižších výškách, kde hrozí vysoké nebezpečí střetu s ptactvem. Z toho důvodu je v opravárenské příručce pro daný typ letadla, v mém případě Zlín Z 142, uveden postup pro vyhodnocení a opravu takovýchto poškození.

Pokud se jedná o typický dent nebo deformaci potahového plechu bez ostrých hran, zjevných vrubů, vrypů, poškrábání či viditelných trhlin, provede se zkouška na výskyt trhlin pomocí penetračního spreje. Pokud se výskyt trhlin nepotvrdí, stanoví se dle opravárenské příručky, přístupnosti k poškozenému místu a velikosti poškozeného potahového panelu, postup pro jeho opravu. Pokud se přítomnost trhliny potvrdí či je dent na takovém místě kde by bylo z technologického a bezpečnostního hlediska nemožné provést opravu předepsanými postupy od výrobce je doporučeno vyměnit celý potahový panel na němž se dent či podobná deformace nachází.

Nepostradatelnou technologií pro vyhodnocování takových to i jiných poškození je technologie NDT - Non-destruction testing, o které jsem se již v předešlém textu zmínil. Tato technologie využívá fyzikálních zákonů z oblasti ultrazvuku, vířivých proudů a kapilární elevace, jak je popsáno v následujícím textu.

3.2.1. Nedestruktivní testování - NDT - *Non-destruction testing*

NDT zahrnuje metody používané pro zkoušení určitého produktu, materiálu nebo systému, aniž by se narušila jejich budoucí použitelnost nebo ovlivnila schopnost plnit požadovanou funkci. Hovoříme-li o měření nedestruktivními zkouškami, jedná se tak zvané porovnávací měření, kde známe správné hodnoty a ty porovnáváme a naměřenými.

Zkoušení nedestruktivními metodami se všeobecně aplikuje pro zjišťování necelistvosti materiálu, přičemž využívá přiměřenou formu energie pro stanovení vlastností materiálů nebo pro indikování přítomnosti diskontinuit (nesouvislostí) v materiálu a to jak plošných, vnitřních tak i skrytých. Řada dnešních technologií měří pomocí napětí, proud apod., ale specificky se nepoužívají pro hodnocení materiálových vlastností. Radar a sonar se klasifikují jako nedestruktivní zkoušení, když se ovšem používají k prozkoumávání přehrad, ale nikoli když se používají ke zmapování dva řeky. Nedestruktivní zkoušení není jen o zjišťování trhlin. Jiné diskontinuity (nesouvislosti) jako poréznost, ztenčování stěn způsobené korozi a další druhy narušitelů jsou také identifikovány klasickými metodami NDT.

Za nedestruktivní zkoušení se nepovažuje, když zkušební instruktor kontroluje elektrický obvod tak, že ho připojí k elektrickému proudu, nebo zkoušení hydrostatickým tlakem, což je forma zkoušení odolností, při které se zkoušený předmět zničí. Některá materiálová zkoumání vyžadují odběr vzorku zkoušeného předmětu pro zkoušku, jež je sama osobě destruktivní i přestože budoucí životnost a účinnost není narušena odběrem vzorku ze zkoušeného předmětu.

Jestliže se zkoušejí např. ocelové šrouby za účelem prověření jejich chemického složení, za pomoci spektrální analýzy nebo jiskřením a poté jsou vráceny do provozu, bez poškození způsobeného zkouškou, jedná se o nedestruktivní zkoušení.

3.2.2 Použité technologie

Vířivé proudy

Základ metody vířivých proudů souvisí s objevem elektromagnetické indukce Michaelem Faradayem v roce 1831. Ten zjistil při svých experimentech, že při změnách magnetického pole dochází ve vodičích, nacházejících se v tomto poli, k indukci elektrického napětí.

Elektrické napětí se nemusí indukovat pouze v elektrickém vodiči, ale v jakémkoli elektricky vodivém prostředí, jež se nachází v působnosti měnícího se magnetického pole. Jde-li o kompaktní vodivé těleso, pak se obecně v rovinách kolmých na vektor magnetické indukce indukují proudy, jež nazýváme podle tvaru, připomínajícího vodní vír, vířivými proudy. Existence tohoto jevu byla zaznamenána již v roce 1830.

Princip metody vířivých proudů

Metoda vířivých proudů při nedestruktivní kontrole je založena na porovnávání známých hodnot s naměřenými. Pro toto porovnávání vyžaduje, metoda testování vířivými proudy, zkušební etalon, který simuluje nepoškozený i poškozený stav objektu. Zkoušený objekt, jenž má určitou elektrickou vodivost, magnetickou permeabilitu a určité rozměry, vystaví působení střídavého magnetického pole, vytvořeného budicí cívkou, napájenou střídavým proudem. V tomto objektu, jak již bylo řečeno, se indukují vířivé proudy, jež svým magnetickým účinkem působí zpětně nemagnetické pole původní – budicí. Tato dvě magnetická pole – primární od budicí cívky a reakční od vířivých proudů – se vektorově skládají ve výsledné pole, jež bude záviset na elektrické vodivosti a magnetické permeabilitě zkoušeného objektu. V měřícím vinutí snímače se tedy indukuje napětí ovlivněné magnetickými a elektrickými parametry kontrolovaného objektu. Kromě toho závisí indukované napětí na frekvenci budicího proudu a na tvaru objektu.

Princip nedestruktivního zkoušení pomocí vířivých proudů spočívá v tom, že strukturní stav materiálu změni uvedené magnetické a elektrické parametry, nebo přítomnost defektu přeruší část drah vířivých proudů, takže jejich zpětný účinek na budicí pole se změni.

Postup pro měření metodou vířivými proudy je uveden v příloze A

Využití metody vířivých proudů

- detekce materiálových diskontinuit např.: trhlin, povrchových prasklin, poruch svarů
- měření tloušťky stěn, měření naplátování feromagnetických i neferomagnetických vrstev na kovovém i nekovovém podkladu
- kontrola povrchových vrstev kovů např.. oduhličení, nitridace
- měření tloušťky laků
- kontrola strukturního stavu kovů při tepelném zpracování
- kontrola záměn materiálů

Ultrazvuk

Zkoušení ultrazvukem vzniklo z potřeby zjistit skryté vnitřní defekty objektů, které nebylo možné dobře prozařovat a u kterých tyto defekty mohli vést k poškození nebo havárii hotového výrobku nebo by byli objeveny až při obrábění.

Za průkopníka použití ultrazvukových vln pro prozvučování materiálů a objektů se považuje Sokolov, který už ve třicátých letech dvacátého století, usuzoval z poklesu amplitudy ultrazvukového vlnění, procházejícího materiálem, že se zde nacházejí defekty. Prudký rozvoj elektroniky, který nastal po druhé světové válce, především miniaturizace vyvolaná objevením tranzistoru a později mikroprocesorů, umožnil komerční využití a větší dostupnost, jak s ohledem na rozměry tak i cenu přístroje. Ke konci devadesátých let dvacátého století už byli běžně používány přístroje o hmotnosti okolo 1,5kg s možností uchovávání jak vstupních (nastavených) tak až několika stovek naměřených hodnot (echogramů), které lze následně přenést do PC.

Zkoušení ultrazvukem, je také hojně a úspěšně používáno pro testování nekovových materiálů, jako jsou například kompozitní typu (karbon, kevlar, sklolaminát), které jsou dnes ve velké míře používány převážně v letectví.

Princip ultrazvukové metody

Ultrazvuk je možno chápat jako zvukové vlny o frekvenci nad mezí slyšitelnosti šířící se prostředím, které je alespoň částečně elastické. Takové vlnění není nic jiného než kmitavý pohyb částic prostředí okolo jejich rovnovážných poloh. Protože mezi, částicemi působí síly soudržnosti, postupně se tento pohyb přenáší z jedné částice na všechny okolo, které se navenek projevují tak, že vzduch – vlna se šíří určitou rychlostí v prostředí.

Akustický tlak, který vyvolá vlnění v prostředí je závislý na rychlosti kmitání částic a na akustické impedanci (vlnovém odporu) prostředí. Vlnění se prostředím šíří určitou rychlostí za čas. Protože čas vyjadřuje periodické opakování velikosti výchylky kmitající částice vyplývá z toho, že v prostředí se budou částice nacházet ve stejné fázi kmitavého pohybu

Pokud si odmyslíme vlnový charakter ultrazvuku, můžeme rovinnou ultrazvukovou vlnu považovat za soubor přímých navzájem rovnoběžných paprsků orientovaných ve směru vlny (kolmo na vlnoplochu). Tato abstrakce umožňuje aplikovat na šíření ultrazvuku zákony geometrické optiky a je použitelná když je rozhraní, na které vlna dopadá o hodně větší než vlnová délka.

Jako rovinná vlna dopadá na zakřivené rozhraní dvou prostředí, potom se jednotlivé paprsky lámou podle Snellovho zákona pod různými úhly. Výsledkem může být za určitých podmínek soustředění ultrazvuku do malého objemu.

Postup pro měření ultrazvukovou metodou je uveden v příloze B

Využití ultrazvukové metody

- detekce materiálových diskontinuit např.: trhlin, poruch svarů, dutin v odlitcích
- měření hustoty, tloušťky, stupně impregnace apod.
- měření modulu pružnosti
- kontrola strukturního stavu kovů při tepelném zpracování
- kontrola pevnosti v tahu, smyku apod.
- kontrola přesazení, opotřebení

Kapilární (penetrační) metoda

Zkoušení kapilární metodou začalo v druhé polovině 19. století. Už za císaře Franze Josefa I. se v rozvíjícím průmyslu tehdejšího Rakousko-Uherska začala používat kontrolní metoda, nazývaná petrolejová zkouška. První, kteří použili metodu „petrolej a bělení“ pro zjišťování trhlin v železničních součástech nejsou známi. Metoda byla nahrazována magnetickou metodou práškovou. Těsně před a během druhé světové války rychle rostoucí letecký průmysl používal stále více nemagnetických lehkých kovů, které nemohly být zkoušeny magnetickou metodou práškovou. Tak na sobě nezávisle bratři Switzrovi v USA, Brent v Anglii a Klimpr v Německu začali produkci fluorescenčních a barevných detekčních tekutin.

Metoda při použití těchto tekutin nevyžadovala a ani dnes nevyžaduje magnetickou vodivost zkoušeného materiálu. Kapilárními metodami lze zjišťovat pouze vady vyúsťující na povrch, tak aby do nich kapalina (penetrant) mohl vniknout. Nelze jimi zjišťovat vnitřní vady materiálu.

Princip kapilární metody

Kapilární metody jsou založeny na využití charakteristických vlastností fázových rozhraní a jevů, označovaných jako kapilární jevy nebo kapilární vlastnosti kapalin.

Vlastní princip kapilárních metod spočívá ve využití vztlakovosti a snášivosti vhodných kapalin (penetrantů), jejich barevnosti nebo fluorescence. Těmito kapalinami se pokrývá

zkoušený povrch tak, aby mohli vnikat do necelistvostí vycházejících na tento povrch. Po odstranění přebytku penetrantu ze zkoušeného povrchu (po ukončené penetraci do vad), vzlíná penetrant zbylý ve vadách na povrch a za pomoci kontrastní vývojky vytváří barevnou nebo fluorescenční indikaci vady. Indikace vad se hodnotí vizuálně. V případě že je zkoušený povrch kryt ochranným nátěrem či nástřikem, je nutno tento odstranit až na čistý materiál.

Postup pro vyšetření kapilární (penetrační) metodou je uveden v příloze C

Využití kapilární metody

- detekce povrchových trhlin
- detekce trhlin vystupujících na povrch
- detekci studených spojů

Výhody použitých metod NDT

- relativně levné metody vůči některým jiným např.: metoda prozařování
- možnost realizovat lehké přenosné přístroje pro nedestruktivní kontrolu
- možnosti automatizace kontrolního procesu
- není potřeba před kontrolou speciálně upravovat povrch, krom kapilární metody
- jedny z mála metod použitelných k měření za vysokých teplot

Nevýhody použitých metod NDT

- nemožnost indikace vad hluboko pod povrchem
- značná citlivost na rozměry a tvar součástí
- potřeba velmi velkého množství etalonů (značné navýšení ceny)
- nutnost znát vstupní data
- náročná příprava povrchu u kapilární metody
- zjištění jen vad pronikajících na povrch u kapilární metody

3.3 Opravy dentů

Jelikož se na dent musí pohlížet jako na jakékoli jiné poškození potahového panelu, je nutné aby výrobce stanovil postupy a předpisy pro jejich odstranění a opravy. Pokud je dent shledán nepřipustným ať z ohledem na jeho rozměry, umístění či míru poškození potahového plechu, je nutné tento dent odstranit. Způsoby a postupy pro odstraňování, se dělí dle oblastí kde se nepřipustné denty nachází, a to z konstrukčního a aerodynamického hlediska. Hovoříme-li o konstrukčním hledisku, jde o rozdělení letounu na přetlakové a nepřetlakové části draku, kde jsou rozdílné požadavky na kvalitu, těsnost a přesnost provedení potahových panelů a jejich opravy. Rozdělením z aerodynamického hlediska se rozumí, nároky na aerodynamickou čistotu na jednotlivých částech draku letounu, viz obrázek 5.4 Podrobné postupy pro opravy a odstraňování nepřipustných dentů jsou uvedeny v Boeing SRM, jelikož tento předpis nemůže obsáhnout všechny případy možných výskytů nepřipustných dentů, je doporučeno konzultovat případné nesrovnalosti či pochybnosti přímo s výrobcem letounu a tím zamezit možnému vzniku dalšího poškození nebo nehody.

Boeing

Opravy nepřipustných dentů na letounu se provádějí následovně:

Dent je odstraněn navrácením potahového plechu do původního tvaru vyklepáním, mechanickým vytlačením (hydraulicky, pneumaticky) nebo za pomoci speciálního elektromagnetického přístroje. Poté musí být otestován pomocí NDT, zda rovnáním nevznikaly trhliny a byla zjištěna zbytková tloušťka potahového plechu. Splňuje-li opravená část předepsané podmínky po navrácení do původního tvaru, je zesílen z vnitřní nebo vnější strany výztuží, ve formě plechu, a řádně utěsněn za pomoci tmelu. Umístění výztuže, z vnější nebo z vnitřní strany, je určeno požadavky na aerodynamickou čistotu v daném místě.

Dent je odstraněn vyříznutím z potahového plechu, přičemž musí být hrany řezu řádně začištěny a otestovány pomocí NDT, zda narušením celistvosti potahového panelu nevznikly v okolí řezu trhliny. Do takto vytvořeného otvoru se vyrobí přesná záplata o stejné tloušťce jako je samotný potahový panel a připevní se pomocí výztuže z vnější nebo vnitřní strany, vyžadují-li to okolnosti není výjimkou upevnění záplaty z obou stran a řádně utěsní tmelem. Umístění výztuže, z vnější nebo z vnitřní strany, je určeno požadavky na aerodynamickou čistotu v daném místě, jak už zde bylo řečeno.

Dent je vyplněn speciálním tmelem a vytroušen do původního tvaru potahového panelu. Tento druh opravy se provádí v místech, na která jsou kladeny vysoké nároky na aerodynamickou čistotu, kde je z ekonomického a časového hlediska nevyhovující navrácení potahového plechu do původního tvaru s následným zesílením a kde jsou vlivy povětrnostní eroze natolik nízké, aby jim tento druh opravy odolal.

Dent je odstraněn včetně celého potahového panelu, na kterém se nachází. Tento panel je odnýtován z konstrukce letounu a nahrazen novým (nepoškozeným) panelem. Tyto typy oprav se provádějí na částech letounu, na která jsou kladeny maximální nároky z hlediska aerodynamické čistoty a kde není možno zajisti odstranění nepřipustného dentu některým z předchozích postupů.

Moravan Otrokovice

Je-li dent nebo tvarové poškození stejného typu vyhodnoceno jako přípustné pro opravu, je zapotřebí zjistit zda je poškozená oblast přístupná z druhé strany a za je zde dostatečný prostor pro manipulaci s nářadím a nástroji potřebnými pro vyklepání či vytlačení dentu do původního tvaru potahového panelu. Poté se provede vizuální kontrola popřípadě kontrola pomocí penetračního spreje aby se odhalili případní trhliny. Pokud není možné zajistit přístup k poškozenému místu z druhé strany, použije metoda vytahování. Pro tuto metodu je zapotřebí navrtat potahový plech v místě dentu a zachycením háků a háčků různých velikostí a průměrů v těchto otvorech, vytáhnout potahový plech do původního tvaru. Následně je zapotřebí provést vizuální kontrolu a zkoušku penetračním sprejem dra se při vytahování dentu nevytvořili trhliny. Pokud by se touto či výše zmíněnou opravou zapříčinil vznik trhlín, je zapotřebí postupovat dle opravárenské příručky pro opravy trhlín. Jestliže se trhliny nevytvoří, je u metody vytahováním zapotřebí zacetit a zakrýt vyvrtané otvory, které jsem použili pro vytahování. Oprava takovýchto otvorů se provádí umístěním záplaty na inkriminované místo a to tak aby zakryty všechny otvory na ráz a co nejméně ovlivňovala aerodynamickou čistotu. Nastane-li případ kdy se dent nachází na takovém místě, že ho z technologického nebo bezpečnostního hlediska nelze odstranit, je provedena výměna celého potahového panelu na kterém se tento dent či obdobné tvarové poškození nachází. Tento způsob opravy je u těchto letounů hojně využíván s ohledem na rychlost, spolehlivost a bezpečnost opravy.

4. Aplikace technologie PDR

Prostřednictvím tohoto pokusu chci ověřit zda je možné opravit různé druhy dentů potahových plechů z duralové slitiny prostřednictvím technologie PDR a zjistit jaký vliv bude mít užití této technologie, pro opravu dentů, na celistvost a zachování tloušťky potahového plechu a zda se v něm vytvoří či nevytvoří trhliny. Zároveň se snažím ověřit zda by bylo možné s dostatečnou přesností a účinností detekovat výskyt trhlin v potahovém plechu a určit jejich polohu, směr a velikost jen prostřednictvím metodou vířivých proudů. A to vše za předpokladu, budu detekce prováděna přes různorodou vrstvu nánosů, jako je například barva a lak. Čímž by se mohli snížit náklady a čas na odstraňování nánosů pro provedení penetrační zkoušky, k detekci a lokalizaci trhlin, a opětovné nanášení antikoročních a ochranných nánosů.

4.1 Popis technologie PDR - *Paintless Dent Removal*

Historie vzniku P.D.R.

Vznik metody P.D.R. (*Paintless Dent Removal*), se datuje do 80. let minulého století, kdy technik v automobilce Ferrari v Itálii poškodil dveře jednoho z vyráběných modelů a neměl dostatek finančních prostředků potřebných pro standardní opravu kytováním a lakováním. Pokusil se tedy dveře uvést do původního stavu vymáčknutím plechu za pomoci železné páky. Tuto metodu poté ještě několikrát použil na jiná poškození obdobného charakteru a tím ji zdokonalil natolik, že se rozhodl nechat si ji patentovat. Poté odcestoval do USA a tam tuto technologii dále zdokonyoval a zároveň se stala jeho podnikatelským záměrem. Teprve před patnácti lety se tato metoda dostala zpět do Evropy, kde se díky své úspěšnosti velice rychle rozšířila. V automobilovém opravárenství v České republice se tato technologie objevila zhruba před deseti roky.

Využití PDR

Karoserie automobilu je v prvovýrobě ošetřena speciálními antikoročními a ochrannými prostředky, které zaručují karosérii dlouhou životnost. Materiál karosérií je také zpracován různými tepelnými úpravami a jsou do něj také přidávány různé prvky, které určují jeho vlastnosti.

Klasické metody oprav kovových karosérií se skládají mimo jiné také z broušení povrchu a různých navařování přípravků pro vyrovnání. Tím samozřejmě dochází k narušení všech výše uvedených originálních úprav materiálu a povrchu karosérie, čímž se zkracuje životnost materiálu na těchto opravovaných místech a zpravidla dochází ke korozi. U klasické metody také velmi záleží na kvalitě přípravy povrchu před lakováním. Často jsou vidět různé stopy po broušení, smetí v laku podlitiny a o jiném odstínu barvy nemluvě. Nově nalakovaný povrch již není tak kvalitní jako originální lak vzhledem k použité technologii a tudíž již nelze uplatnit záruku proti napadení korozi.

Oproti tomu u metody „PDR“ (*Paintless Dent Removal*), což se dá česky nazvat jako „Opravy deformací karosérie bez lakování“ nedochází k žádnému narušení vrstev povrchové a antikorozi ochrany karosérie ani ovlivnění vlastností materiálu. Na povrchu také zůstává původní lak. Odpadá tedy problém s nekvalitně připraveným povrchem, namíchaným odstínem, kvalitou barvy, kvalitou lakování, atd. Metodou P.D.R. lze za studena vyrovnávat drobná poškození kovových částí karosérie, jak z železných i neželezných slitin. Tato poškození mohou být například zapříčiněna: povětrnostními vlivy, manipulací s obslužným zařízením, při neopatrné opravárenské činnosti, při parkování, apod. Proto tato metoda byla vyvinuta pro rychlou a profesionální opravu těchto poškození, a také hlavně pro její nízké náklady a úsporu času.

Popis PDR

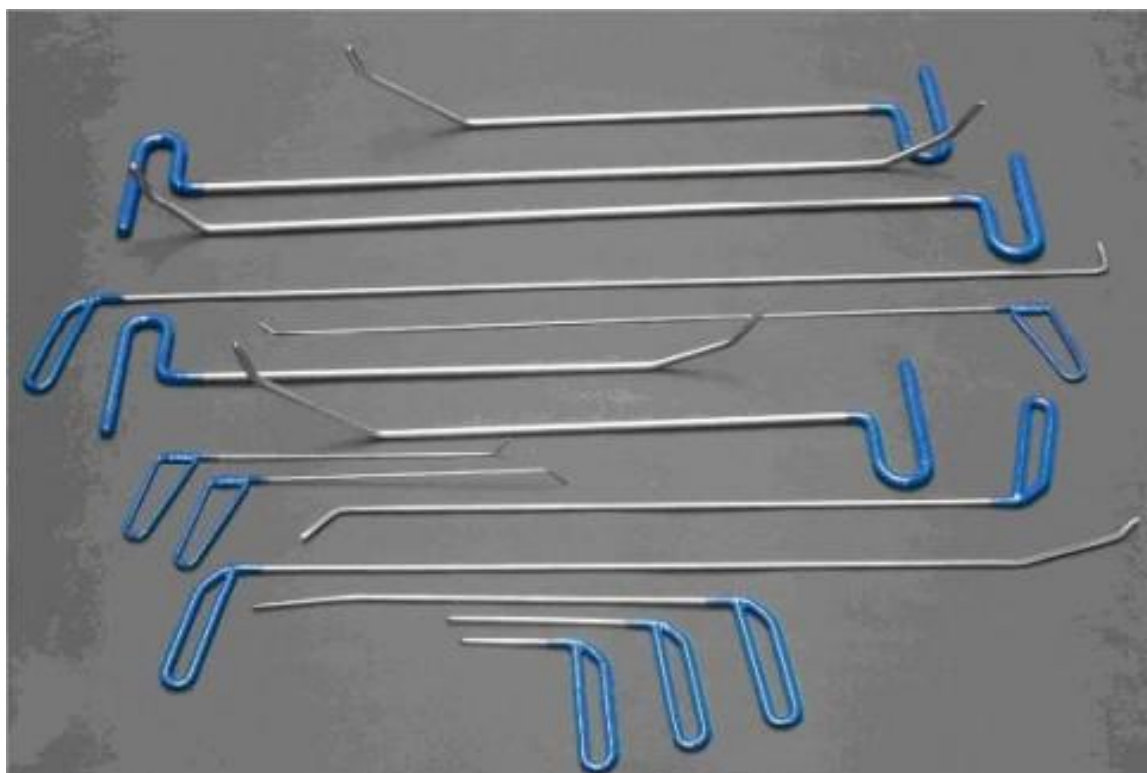
Pro opravy se používají speciální přípravky a přísavky tzv. „Pullmbond“. V případě potřeby je místo opravy odstrojeno pro snazší přístup k poškození. Oprava probíhá v čistém prostředí bez použití velkých a těžkých zařízení, čímž je minimalizováno riziko zašpinění nebo poškození vozu. Touto metodou lze opravit důlky a promáčkliny i velmi velkých průměrů a to 10cm i více, viz příloha D. Nepsanou podmínkou je, že jejich hloubka by neměla přesahovat 1/3 průměru. V praxi již bylo dokázáno, že je možné technologií PDR opravit i poškození, která jsou mimo tento tzv. limit viz příloha E.

V případě, že je některý díl karoserie poškozen tak vážně, nebo je poškozením narušena celistvost laku, lze touto technologií poškozený díl opravit do takového stavu, že je možné díl nalakovat bez nutnosti tmelení nerovností (lakýrník pouze dané místo přebrousí atd.). Tím se samozřejmě urychlí a usnadní celá oprava.

Technologie opravy pomocí P.D.R. se rozděluje na dvě základní metody a to metodu vnitřní (vytlačování) a metodu vnější (vytahování). Jednotlivé metody jsou podobněji popsány v následujícím textu.

Metoda PRD vnitřní - vytlačování

Umožňuje opravy důlků bez následného lakování za použití speciálního nářadí, tzv. pák a háků ze speciálních vysoko pevnostních slitin, se kterým je možné proniknout téměř na všechna místa karoserie - obrázek 4.1. Jedná se v podstatě o vymačkávání nerovností ze zadní strany poškozeného místa karoserie, tak zvanou metodou jemné masáže plechu, díky které se s hodinářskou přesností docílí původního tvaru dílu, při kterém nedochází k poškození původní barvy a laku.



Obrázek 4.1: Páky a háky pro PDR- metodu vnitřní (vytlačování)

Sady nástrojů, zejména speciálních vytlačovacích a rovnacích pák či háků se používají pro opravy malých i velkých promáčknutí karosérie bez poškození laku. Typickým příkladem takových poškození jsou třeba menší deformace po úderech krup, při parkování, při transportu vozidel apod. Pomocí uvedených nástrojů se vytlačují prohlubně z vnitřní strany a nejčastěji se postupuje z vnějšího kraje směrem ke středu. Tento postup není vždy směrodatný a nejvíce záleží na praxi a zkušenostech mechanika, který tuto opravu provádí.

K nezbytnému vybavení patří ještě lampa. Odleskem jejího svitu se zvýrazní deformace a odlesk zároveň napomáhá při jejich odstraňování. V určitých případech postačí i menší lampička s magnetickým či podtlakovým uchycením a napájením z baterie automobilu 12 V, těch se využívá zejména v prostředí kde není možno použít velké

stojanové z důvodu nedostatku prostoru nebo zdroje elektrického proudu. Velké stojanové lampy na 230V se používají nejčastěji v opravárenských zařízeních nebo pokud je poškozený natolik velký, že by ho malá lampa celé nepokryla. Světla která se používají při opravě musí utvářet odlesk v tzv. rastru neboli pruzích - obrázek 4.2. Je také možné použít světlo generující méně pruhů, to záleží na zkušenostech a nárocích jednotlivých mechaniků, kteří opravu provádějí. Tam kde tlačíme nástrojem se světlo zúží stejně jako na obrázku 4.2, pokud se vytvoří hrbolek, tak se zaklepe dřevěným nebo plastovým kolíčkem zpět, čímž se uvolní pnutí jak v bavě tak i v plechu.



Obrázek 4.2: Odlesk světelného rastru na poškození

Veškeré nástroje a nářadí se dají pořídit bez velkých obtíží. Největší komplikací je kvalita zpracování nástrojů, která má velmi velký vliv na kvalitu oprav. Nářadí a přípravky pro opravy metodou PDR, musí být dostatečně kvalitní a pevné. Od těchto požadavků se samozřejmě odvíjí i jejich cena, které se u originálního a kvalitního nářadí pohybuje v řádech stovek tisíc korun.

Metoda PDR vnější - vytahování

Na místech, která není možné opravit metodou vnitřní (vymačkáváním), se používá systém nalepovacích adaptérů (čepů) a reverzního kladiva - obrázek 3.3 vpravo. Tato metoda se využívá je pokud není umožněn přístup z druhé strany poškození, což je zpravidla zapříčiněno konstrukčním provedením daného místa karoserie. Ať už se jedná o konstrukční zesílení (nosník, vzpěra, rám, ...), nebo se do takového místa nedá zavést vytláčovací páka či hák z důvodu tvaru, zpracování nebo hloubky (uzavřené části podběhů, nosného rámu, ...). Tuto metodu je také výhodná v případě, kdy je nežádoucí demontáž dílu, pokud se jedná o poškození v malém rozsahu, kdy je demontáž zbytečná a jen by prodlužovala dobu opravy. Pokud je například poškozena střecha nebo kapota pouze několika důlky (5-20ti) do průměru 30mm, použije se pro opravu automaticky metoda vnější, bez demontáže interiérových střešních či jiných panelů.

Touto metodou možné opravit téměř identická poškození jako metodou vnitřní, ale nelze tuto metodu použít na opravu poškození, která mají ostré hrany nebo zlomy, ty lze opravit pouze metodou vnitřní. Tato metoda je oproti metodě vnitřní značně pomalejší a má nižší rozsah využití.



Obrázek 4.3: Nalepovací adaptéry (čepy), reverzní kladivo

Sada nástrojů, zejména speciálních vytahovacích adaptérů (čepů) a reverzních kladiv, se používají pro opravy malých i velkých promáčknutí, která ovšem nemají ostré hrany, bez poškození laku. Typickým příkladem takových poškození jsou třeba deformace po úderech krup, při parkování, při transportu vozidel apod. Tato metoda se nedá bohužel

použít pro poškození kde došlo k ostrému zlomu. Pomocí uvedených nástrojů se vytahují prohlubně v plechu z vnější strany bez potřeby přístupu ze strany vnitřní. Nejprve se opravovaná část očistí a odmastí, poté se nanese speciální lepidlo, z tavné pistole na adaptér a ten se přiloží na poškozenou část. Lepidlo se nechá vychladnout a za pomoci reverzního kladiva se promáčknutím vytáhne do původního tvaru. Poté se odstraní adaptér (čep) a zbytek lepidla pomocí speciálního odmašťovače. Ostatní nářadí a přípravky jsou stejné jako u předchozí metody, samozřejmě k nezbytnému vybavení patří již zmiňovaná lampa. Ještě je zapotřebí zmínit, že tyto opravy se neobejdou bez přípravků pro leštění a renovace laků. Jedná se zejména o přípravky kosmetického rázu.

POZNÁMKA:

Jelikož se při použití této metody provádí vytahování „přímo za lak“, předpokládá se že je lak originální (kvalitní).

Výhod metody PDR

- Zachovává původní vzhled a lak karoserie
- Časově nenáročný proces ve srovnání s běžným postupem
- Finančně příznivější ve srovnání s běžným postupem (o 30% – 50%)
- Takto opravitelné místo na karoserii je neodhalitelné
- Nenarušuje tepelné zpracování základního materiálu (plechu)
- Nenarušuje ochranné a antikoroziční nánosy na karosérii

Nevýhody metody PDR

- Nelze přesně definovat jaká míra poškození je kritická pro použití PDR
- Nárok na vysokou kvalitu zpracování laku
- Metoda vnější nemá zaručenu maximální úspěšnost

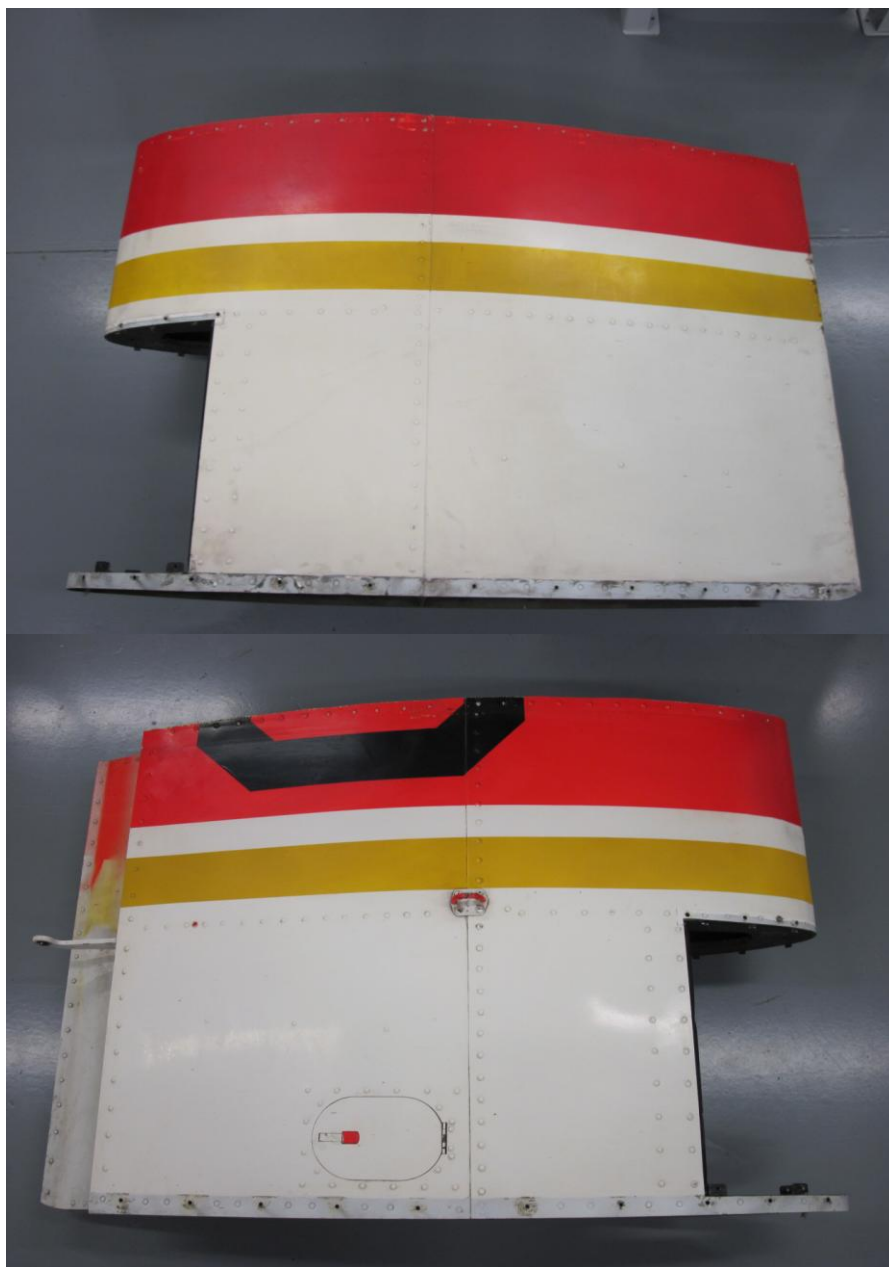
4.2 Zkušební vzorek

Jako zkušební vzorek jsem získal levé křídlo z letounu Zlín Z 142 - obrázek 4.4. Toto křídlo je celokovové a vyrobeno z hliníkové slitiny jako samonosné s předními a zadními položebry, centrálním nosníkem vyztuženým pásnicemi. Potahový plech je konkrétně z materiálu dle ČSN 42 44 00 T62, jeho specifikace jsou uvedeny v příloze F.

Pro zkoušky jsem použil jen část tohoto křídla, kde jsem zachoval původní hloubku a tloušťka profilu. Z důvodu zachování tuhosti jsem vzorek ponechal jako kompaktní celek se třemi žebry, nosníkem a pásnicemi - obrázek 4.5. Oddělení vzorku od zbytku křídla jsem provedl, za asistence mistra strojní dílny, pomocí ruční elektrické přímočaré pili a pneumatických nůžek na plech, v prostorách klempířské dílny společnosti CAEM. Konečné začištění řezu jsem provedl ručními nástroji. Poté jsem zkušební vzorek očistil od chemických, organických a mechanických nečistot a přemístil jej na pracoviště NDT. Na tomto pracovišti jsem podrobil zkušební vzorek, nedestruktivním zkouškám pro zjištění stávajícího stavu a povahy potahového pechu, za pomoci ultrazvuku, vířivých proudů a penetrační zkoušky. Tyto metody jsem poté aplikoval i na prověření uměle vytvořených dentů a kontrolu stavu potahového plechu, po opravě dentů technologií PRD. Více je uvedeno v následujícím textu - Postup.



Obrázek 4.4: Křídlo z letounu Zlín Z 142



Obrázek 4.5: Zkušební vzorek (část křídla Z 142)

4.3 Postup

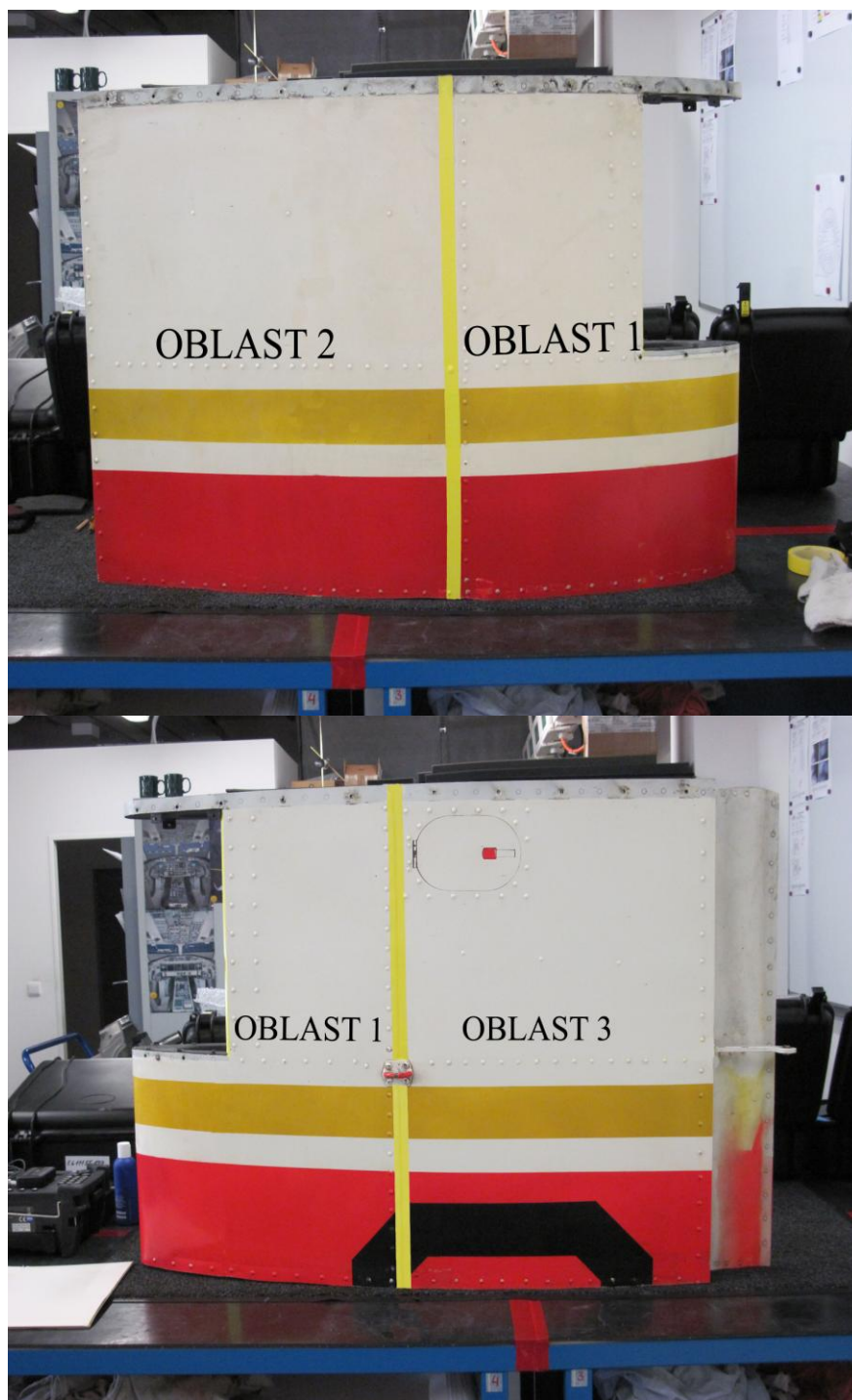
Nejprve bylo zapotřebí vybrat oblasti, kde uměle vytvořím denty a kde je budu testovat, jelikož zkušební vzorek byl bez zjevných známek poškození. Rozdělil jsem proto vzorek do 3 oblastí a v každé z nich určil místa, kde budou denty uměle vytvořeny - obrázek 4.6. Jedná se o 8 míst v různých částech profilu: 3 - jsou na náběžné hraně

2 - jsou na odtokové hraně

2 - na horní straně křídla

1 - na spodní straně u servisních dvířek

Tato místa jsou podrobně vyznačena a popsána v příloze G.



Obrázek 4.6: Rozdělení vzorku na 3 oblasti

4.3.1

Prvním úkolem na pracovišti NDT bylo změření tloušťky nánosu (laku a nátěrů) v předem určených 3 oblastech - obrázek 4.6. Měření jsem provedl za pomoci přístroje: Digital coating thickness gauge CN -8856, pro měření tloušťky nánosu, který je na obrázku 4.7. Jedná se o malý přenosný jednoúčelový přístroj, fungující na principu vířivých proudů, který je schopný měřit tloušťku nánosů jak na železných tak i na neželezných kovech.

Přístroj jsem musel nejdříve zkalibrovat podle použitého materiálu, tzn., je-li nátěr nanesen na železném či neželezném materiálu. Dále jsem zkalibroval sondu pro vyhodnocování tloušťky, za pomoci kalibračních přípravků a simulaci tloušťky nánosu, tzv. kalibrační slídy viz obrázek 4.7. Poté jsem již bez komplikací pouhým přiložením sondy a odčtem údajů z digitálního displeje, naměřil tloušťku laku v jednotlivých sekcích. Tyto naměřené hodnoty jsem zaznamenal do tabulky 4.1.



Obrázek 4.7: Přístroj pro měření tloušťky nánosu a kalibrační etalon

Tabulka 4.1: Tloušťka nánosu [mm]

Měření	Oblast 1				Oblast 2			Oblast 3			
	Barva										
	Bílá	Červ.	Žlutá	Černá	Bílá	Červ.	Žlutá	Bílá	Červ.	Žlutá	Černá
1	0,1	0,13	0,13	0,11	0,09	0,12	0,13	0,09	0,14	0,16	0,18
2	0,1	0,13	0,12	0,12	0,12	0,15	0,13	0,11	0,09	0,13	0,16
3	0,11	0,13	0,12	0,14	0,07	0,14	0,16	0,09	0,14	0,13	0,17
4	0,11	0,08	0,08	0,14	0,07	0,09	0,15	0,1	0,14	0,16	0,16
5	0,1	0,09	0,07	0,15	0,07	0,14	0,15	0,08	0,12	0,15	0,15
6	0,07	0,08	0,09	0,14	0,09	0,14	0,16	0,09	0,11	0,15	0,14
7	0,07	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13	0,12	0,1	0,16	0,15
8	0,07	0,15	0,11	0,16	0,09	0,11	0,13	0,05	0,13	0,13	0,16
9	0,07	0,12	0,12	0,12	0,09	0,1	0,15	0,1	0,15	0,13	0,14
10	0,07	0,13	0,12	0,11	0,08	0,13	0,14	0,09	0,14	0,16	0,15

Provedené měření vykazalo průměrnou tloušťku nánosu: u bílé barvy	0,089mm
u červené barvy	0,122mm
u žluté barvy	0,132mm
u černé barvy	0,144mm

Také jsem měřením zjistil, že nejsilnější vrstva nánosu je na hřbetu křídla. Různorodost tloušťky nánosu je nejspíše způsobena a ovlivněna lidským faktorem při lakování letounu ve výrobním či opravárenském středisku. S ohledem na to do jaké kategorie letoun Zlín Z 142 spadá, se nejedná o žádnou vadu. U letounů této kategorie nejsou kladeny tak vysoké nároky na kvalitu lakování, jako například u Boeingu.

4.3.2

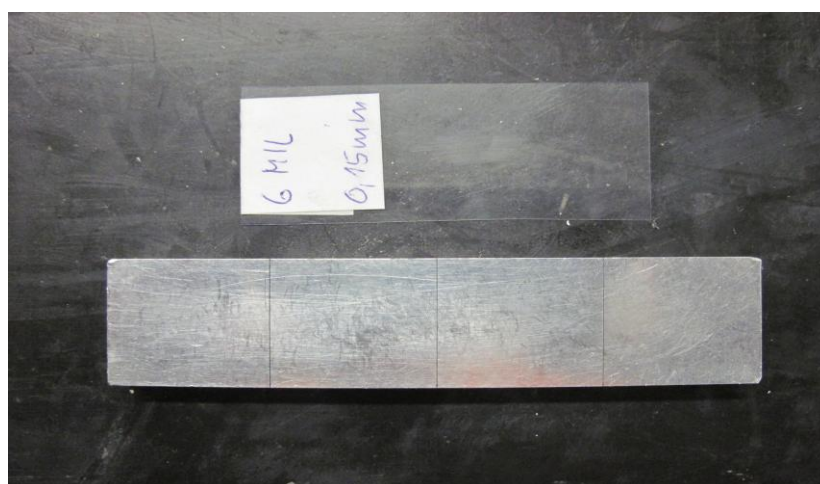
Druhou operací v dílně NDT, jsem ve vybraných místech, kde budou uměle vytvořeny denty, zjišťoval zda jsou v potahovém plechu trhliny, za pomoci přístroje Olympus omni scan MX pro měření vířivými proudy - obrázek 4.8. Tato místa jsou podrobně vyznačena a popsána v příloze G. To je důležité proto aby jsem měl jistotu, zda nebyla v potahovém plechu trhlina ještě před vytvořením poškození, čímž by mohl být celý pokus znehodnocen. Nebo by se trhlina musela zaznamenat a přesně sledovat její rozměry a chování při vytvoření poškození a následné opravě.



Obrázek 4.8: Přístroj Olympus omni scan MX

Přístroj bylo nejprve zapotřebí kalibrovat a nastavit citlivost a rozhraní, jehož překročení je signalizováno zvukovým znamením. Toto zvukové znamení je velice důležité, jelikož při tomto měření musí být věnována zvýšená pozornost zkoumané části a není proto možné sledovat všechno hodnoty na displeji zároveň.

Kalibrování jsem provedl za pomoci kalibračního etalonu, kde jsou uměle simulovány trhliny, a kalibrační slídy, ta simuluje tloušťku nánosů, kterou jsem již naměřil, - obrázek 4.9. Před samotným měřením jsem si musel zhotovit imaginární síť, po které jsem v jednotlivých místech postupoval. Tato síť musí mít minimálně dvě na sebe kolmé osy, aby se eliminovalo možné přehlédnutí trhliny. Při samotném měření jsem postupoval podle návodu k měření vířivými proudy, ten je uveden v příloze A.



Obrázek 4.9: Kalibrační etalony pro měření vířivými proudy

Měřením jsem zjistil, že v žádném z osmy vybraných míst, kde budou vytvořeny denty se trhliny nenacházejí. Pro získání přesnějších dat, jsem se rozhodl na třech místech ještě provést penetrační zkoušku a tím získat data pro porovnání měření vířivými proudy a penetrační zkouškou. A popřípadě dokázat zda je možné s dostatečnou přesností a spolehlivostí prověřit materiál na výskyt trhlín i přes vrstvu nánosů.

4.3.3

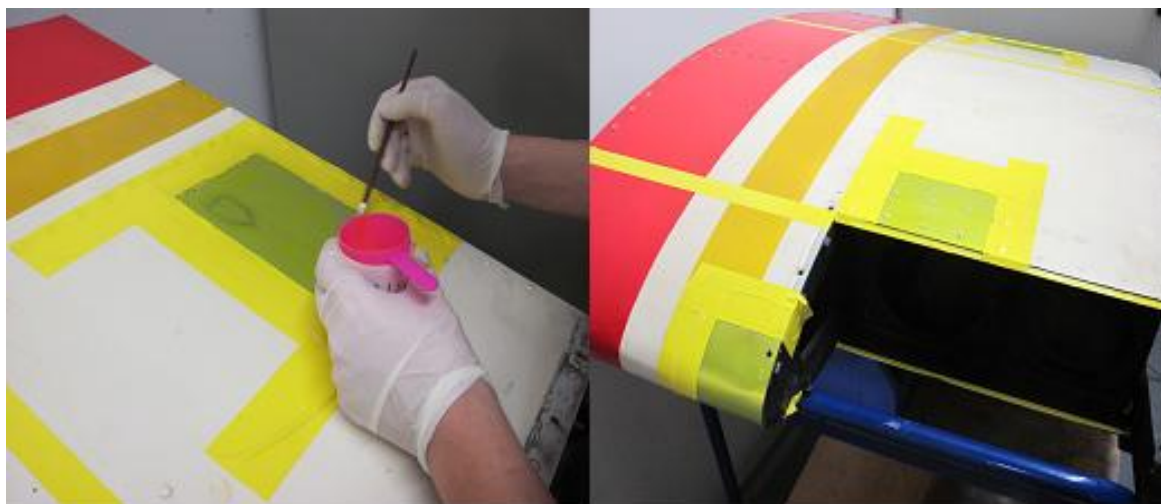
Třetím úkolem v dílně NDT bylo provedení penetrační zkoušky. Pro její provedení je zapotřebí odstranit nános z potahového plechu. Vybral jsem si tři místa v různých oblastech, viz obrázek 4.10, nanesl na ně odstraňovač barvy a nechal působit 24 hodin. Tento odstraňovač barvy na bázi louhu zajistil narušení nánosů do takové míry, že jsem je mohl sejmut za pomoci špachtle z PCV a hadru. Pro penetrační zkoušku jsem ještě musel

místa s odstraněnými nánosy očistit a odmastit, což jsem provedl za pomoci papírové utěrky a speciálního rozpouštědla (odmašťovače) - Cleaner DR-60. Pro provádění penetrační zkoušky je zapotřebí používat správných chemických látek, jak pro čištění tak i samotnou penetraci - obrázek 4.12.



Obrázek 4.10: Vybraná místa s odstraněnými nánosy

Po očištění a odmaštění jsem štětcem nanесl na vzorek fluorescenční penetrant – Penetrant Fluorescent HM – 604, jak je zdokumentováno na obrázku 4.11 a příloze H. Penetrant jsem podle návodu nechal působit 30 minut a poté jsem penetrant pomocí papírové utěrky odstranil. Bylo ještě zapotřebí odstranit přebytky penetrantu pomocí odmašťovače – Cleaner, ale to jsem musel provést velmi jemně a opatrně abych nevymyl i penetrant z případných trhlin.



Obrázek 4.11: Nanášení penetrantu

Poté jsem nanesl na zkoumanou oblast emulgátor (vývojka) – Developer D - 100. Ten částečně utlumuje odraz světla při inspekci a podporuje vzlínání penetrantu z trhliny. Zkušební vzorek jsem musel přemístit do zatemněné komory, abych mohl provést kontrolu penetrovaných částí pomocí UV lampy tzv. černého světla. Pod světlem z UV lampy se fluorescenční penetrant rozzáří a případné trhliny jsou vidět pouhým okem, viz příloha I. Po důkladném nasvícení a ohledání jsem nedekoval žádné trhliny v ani jednom ze tří zkoumaných míst. Při provádění penetrační zkoušky jsem postupoval v souladu s návodem pro postup, který je uveden v příloze C.



Obrázek 4.12: Sada přípravků pro penetrační zkoušku a UV lampa
zleva: penetrant, odmašťovač, vývojka

Abych zajistil co největší počet dat pro porovnání metod vířivých proudů a penetrační zkoušky, rozhodl jsem se podrobit zkoušce vířivými porody ještě jednou tyto tři místa, ve kterých jsem provedl penetrační zkoušku. Výsledek na výskyt trhlin byl opět negativní ve všech třech místech. Po porovnání výsledků z penetrační zkoušky a prověřování vířivými proudy v těchto třech místech, jsem zjistil, že ani jedna z těchto dvou metod neobjevila žádné trhliny. Proto lze soudit, že prověřování výskytu trhlin prostřednictvím vířivých proudů, přes nestejnorodou vrstvu nánosu je stejně účinné jako penetrační zkouška.

4.3.4

Čtvrtou operací na pracovišti NDT bylo měření tloušťky potahového plechu pomocí ultrazvuku. Toto měření jsem provedl v místech, kde jsem pro penetrační zkoušku odstranil nános, jelikož pro měření ultrazvukem je zapotřebí pracovat na očištění a hladkém povrchu bez jakýchkoliv nánosů, které by ovlivnili měření. K měření jsem použil přístroj: Olympus omni scan MX a sondu V205, který pracuje na principu šíření a odrazu ultrazvukových vln v materiálu viz příloha B a obrázek 4.13. Pro ověření přesnosti měření ultrazvukem a získání většího množství dat, jsem ještě zvolil měření pomocí digitálního posuvného měřítka, tzv. mechanické měření.

Přístroj pro měření ultrazvukem bylo zapotřebí nastavit a zkalibrovat, což jsem provedl za pomoci kalibračních etalonů - obrázek 4.13. Nastavil jsem rozmezí pro tloušťku od 0,52mm do 1,25mm podle dostupných etalonů, čímž se zvýšila přesnost měření. I přes toto opatření je možná přípustná chyba měření $\pm 0,03\text{mm}$. Pro správnou funkci přístroje a sondy je zapotřebí vytvořit vazebné prostředí, které zaručuje správný průchod ultrazvukových vln od sondy do zkoušeného materiálu a pak zpět do sondy. Toto vazebné prostředí jsem vytvořil gelem na bázi běžného rubrikantu, jehož vrstvu jsem nanesl na všechna tři zkoumaná místa. Samotné měření, jsem provedl pouhým přiložením sondy na zkoušený vzorek s naneseným vazebným prostředím a odečetl hodnotu na displeji přístroje. Při měření tloušťky pomocí ultrazvuku jsem provedl podle pokynů sepsaných v příloze B. Měřením jsem zjistil, tloušťku potahového plechu a hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2. Pro ověření přesnosti měření ultrazvukem, jsem změřil tloušťku mechanickým způsobem a hodnoty zaznamenal do tabulky 4.2.



Obrázek 4.13: Přístroj Olympus omni scan MX a Al etalony 1,27mm a 0,52mm

Tabulka 4.2: Tloušťka potahového plechu měřená ultrazvukem a mechanicky [mm]

Oblast	1	1	2	3	1	2	3
Měření	Ultrazvukem				Mechanicky		
1	0,58	0,61	0,71	neměřeno	0,6	0,71	0,72
2	0,58	0,61	0,71	neměřeno	0,61	0,69	0,7
3	0,61	0,6	0,68	neměřeno	0,59	0,7	0,7
4	0,58	0,55	0,68	neměřeno	0,58	0,7	0,69
5	0,61	0,58	0,68	neměřeno	0,62	0,68	0,68
6	0,58	0,58	0,68	neměřeno	0,6	0,69	0,71
7	0,55	0,6	0,71	neměřeno	0,61	0,71	0,7
8	0,61	0,61	0,68	neměřeno	0,59	0,72	0,72
9	0,61	0,61	0,71	neměřeno	0,59	0,68	0,69
10	0,58	0,6	0,68	neměřeno	0,57	0,69	0,7

Výsledná hodnota tloušťky potahových pechů je aritmetickým průměrem měření v jednotlivých oblastech. Musíme však vzít v potaz možný výskyt chyby měření v toleranci $\pm 0,03\text{mm}$, která je stanovena v manuálu pro měření a tudíž může u tohoto typu měření nastat. Proto jsem výsledné hodnoty porovnal s hodnotami uvedenými ve strojnické normě pro daný materiál ve formě výrobku: plechy, pásy, pruhy, kotouče - tabulka 4.3

POZNÁMKA:

V oblasti 3 jsem neprovedl měření tloušťky ultrazvukem, jelikož v této oblasti jsem neprováděl penetrační zkoušku a tudíž zde nebyl na žádném místě odstraněn nános.

Tabulka 4.3: Výsledná tloušťka potahového plechu [mm]

	Měření ultrazvukem	Měření mechanické	Tabulková hodnota
Oblast 1	0,592	0,596	0,6
Oblast 2	0,692	0,697	0,7
Oblast 3	neměřeno	0,701	0,7

Porovnání naměřených a tabulkových hodnot vykazuje velmi vysokou přesnost použití měření tloušťky ultrazvukem. Toho lze využít pro získání vstupních dat tloušťky potahového plechu, která nebyla poskytnuta výrobcem, například při vyhodnocování různých poškození či revizích. Zvolil jsem si tuto metodu za účelem získání více vstupních dat pro přesné určení tloušťky potahového plechu a pro pozdější vyhodnocení a porovnání opravených poškození, kde by mohlo dojít ke ztenčení potahového plechu důsledkem poškození a následné opravy.

4.3.5

Po změření tloušťky potahových plechů, jsem přemístil vzorek do klempířské dílny, kde jsem za asistence klempířů uměle vytvořil pryžovou paličkou, plastovou paličkou a kladivem denty. Ve vybraných třech oblastech jsem vytvořil osm dentů různé velikosti a tvaru na již předem určených a vybraných místech, viz příloha G. Všechny tyto umělé denty jsem vytvořil podle nejčastějších míst jejich výskytu a s ohledem na prověření chování a reakce obou druhů potahových plechů.

Umístění dentů: Oblast 1 - dvě lehká poškození na náběžné hraně křídla

- jedno těžké poškození na náběžné hraně křídla
- jedno lehké poškození u hrany úchyty aerodynamického krytu

Oblast 2 - jedno lehlé poškození na hřbetu křídla

- jedno lehké poškození na odtokové hraně křídla
- jedno těžké poškození na odtokové hraně křídla

Oblast 3 - jedno lehké poškození u servisního otvoru – s nánosem

Detekci a vyhodnocení jsem také provedl v klempířské dílně. K tomu to procesu jsem použil ocelové měřítko, digitální posuvné měřítko a digitální úchylkoměr. U dentů se měří délka, šířka a hloubka. Každý dent je třeba označit – zakroužkovat a opatřit pořadovým číslem. Délka a šířka se měří pomocí ocelových měřitek, kdy se měřítko přiloží na potah

tak aby kopírovalo původní tvar v místech kde je dent. V místech kde pravítko odstává se jednoduchým způsobem odečte z nonia hodnota - obrázek 4.14 a zaznamená se, nejčastěji na štítek nalepený v blízkosti poškození nebo do předem připravené tabulky.

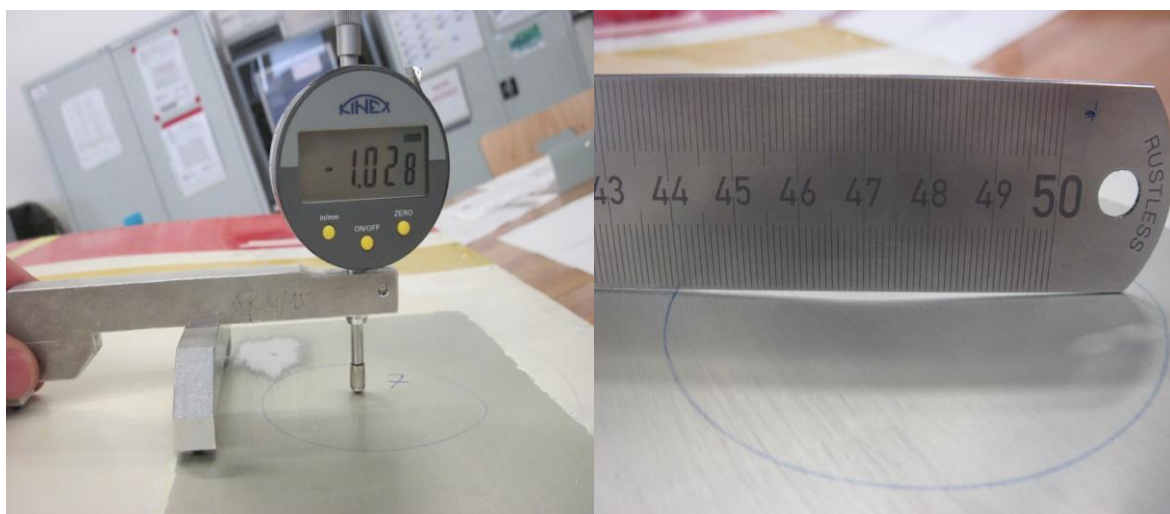
Z důvodu velkého zakřivení profilu jsem musel použít různé druhy a velikosti ocelových měřitek. Hloubku jsem změřil za pomoci digitálního úchylkoměru a digitálního posuvného měřítka. Digitální úchylkoměr sem přiložil na potahový plech a vynuloval, poté jsem jím přecházel po celém poškození a nejvyšší hodnotu hloubky jsem zaznamenal.

V místech kde nebylo možné úchylkoměr použít s ohledem na velké zakřivení profilu, jsem použil obdobnou metodu jako u měření délky a šířky, kdy jsem na horní hranu kovového měřítka přiložil digitální posuvné měřítko a změřil hloubku včetně výšky měřítka, kterou jsem pak samozřejmě odečetl. Naměřené hodnoty jsem zaznamenal do tabulky 4.4.

Tabulka 4.4: Vyhodnocení poškození [mm]

Poškození	1	2	3	4	5	6	7	8
Lokalizace	Náběžná hrana	Náběžná hrana	Náběžná hrana	Hřbet profilu	Hřbet profilu	Odtoková hrana	Odtoková hrana	U montážního otvoru
Délka	110	25	50	60	35	110	60	55
Šířka	65	10	20	35	30	20	50	30
Hloubka	2,7	1,1	1,9	1,6	0,6	3,5	1	1,6

V příloze J, je fotograficky zdokumentováno všech osm dentů.



Obrázek 4.14: Měření hloubky digitálním úchylkoměrem, měřené délky a šířky ocelovým měřítkem

4.3.6

Po vytvoření a vyhodnocení dentů jsem přenesl zkušební vzorek zpět na pracoviště NDT. Zde jsem prověřil všech osm poškození pomocí vířivých proudů, zda se při poškození nevytvořily trhliny v potahovém plechu. Postup měření jsem provedl obdobně jako u předchozího vyšetření vířivými proudy u všech osmi dentů, viz příloha A . U tří míst kde jsem při předchozích operacích odstranil barvu a poté vytvořil čtyři denty, jsem opět provedl i penetrační zkoušku, pro získání dat k porovnání s metodou vířivých proudů. Penetrační zkoušku jsem také provedl obdobně jako při předchozí zkoušce, jelikož nebylo zapotřebí pracovní postup měnit, viz příloha C .

Výsledek prověření vířivými proudy na trhliny, byl negativní u všech osmi dentů. Penetrační zkouška byla také negativní u všech čtyř testovaných dentů, viz příloha K, která obsahuje fotografie výsledku penetrační metody na dentech. Lze tedy konstatovat, že při poškození těchto typů nedošlo k vytvoření trhlín v potahovém plechu ani v dentu samotném.

Po prověření na trhliny jsem provedl měření tloušťky potahového plechu v dentu. Toto měření jsem mohl provést jen u čtyř dentů, kde byl při předchozích operacích odstraněn nános barvy, jelikož jsem měření provedl ultrazvukem. Toto měření jsem provedl obdobně jako u předchozího vyšetření ultrazvukem, jen jsem musel použít jinou měřicí sondu než u předchozího měření, a to tzv. tužkovou sondu, jelikož zakřivení povrchu v dentu je velmi nerovnoměrné a při použití jiné než tužkové sondy by nebylo možné provést měření správně, viz příloha B. Tímto měřením jsem zjistil, že k zeslabení potahového plechu v místech poškození – dentů nedošlo nebo k němu došlo v tak malé míře, že ho s ohledem na možnou odchylku přístroje $\pm 0,03\text{mm}$ nebylo možné zaznamenat.

4.3.7

Jako další operace následovalo vyrovnání dentů pomocí technologie PDR. Za tímto účelem jsem převezl zkušební vzorek do dílny společnosti RenoveCars, která je v České Republice jako jediná s mnohaletou praxí, širokou sítí spokojených zákazníků a má zkušenosti s použitím technologie PDR na automobilových karoseriích z hliníkových slitin koncernu Audi a Volkswagen. Po konzultaci s majitelem firmy a mistrem v jedné osobě jsem zkušební vzorek připravil pro opravu, což obnášelo upevnění zkušební vzorku na pracovní podložky a rozleštění nánosu na poškozených místech. Rozleštění jsem provedl speciální pastou, pro opravy a renovace laků, a to z toho důvodu aby byl znatelný odlesk světla od pracovní lampy, podle kterého se poškození rovná do původního tvaru.

Samotnou práci rovnání, prováděl osobně sám mistr v oboru a majitel firmy v jedné osobě se svým kolegou. Pro rovnání jsme nejprve zkusili použít metodu vytahování za pomoci nalepovacích čepů a reverzního kladiva.



Obrázek 4.15: Aplikace vnější metody PDR, poškozený nánosu barvy

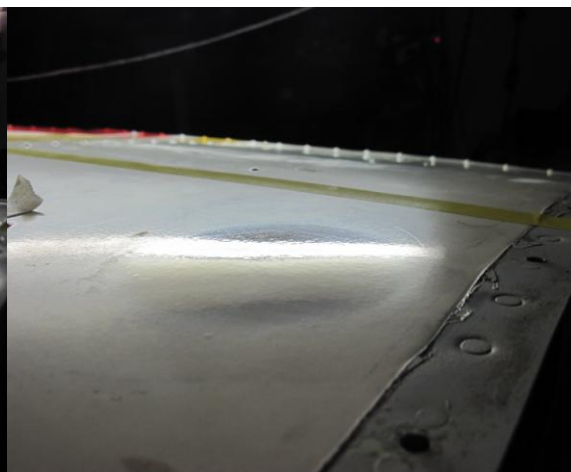
Tato metoda se ale bohužel neosvědčila, jelikož při ní byl částečně narušen nános barvy a to konkrétně nános červené barvy u poškození číslo 6, nedošlo však k odtržení barvy od potahového plechu, ale k oddělení od spodního nánosu bílé barvy - obrázek 4.15. Při obdobném pokusu u poškození číslo 4, kde byla odstraněna barva, se zdařil bez vážných komplikací. Po bližším ohledání a konzultaci s lakýrníkem jsem dospěl k závěru, že odtržení nánosu červené barvy bylo částečně způsobeno špatným technologickým postupem při nanášení červené barvy, ale zejména stářím nánosu barvy.

S ohledem na tuto událost, jsme u poškození s barvou dále použili jen metodu vytlačování za pomoci speciálních přípravků - tzv. háků z vysoko pevnostních slitin. Tento postup byl velmi účinný a úspěšný, jak z hlediska zachování celistvosti nánosu barvy tak s ohledem na rychlost a přesnost provedení - obrázek 4.16. V tabulce 4.5 jsem popsal postup, čas práce a výsledky u opravy jednotlivých dentů.

Před opravou



Po opravě



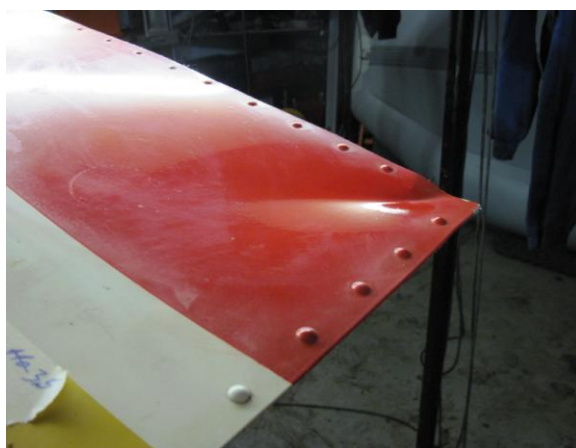
Před opravou



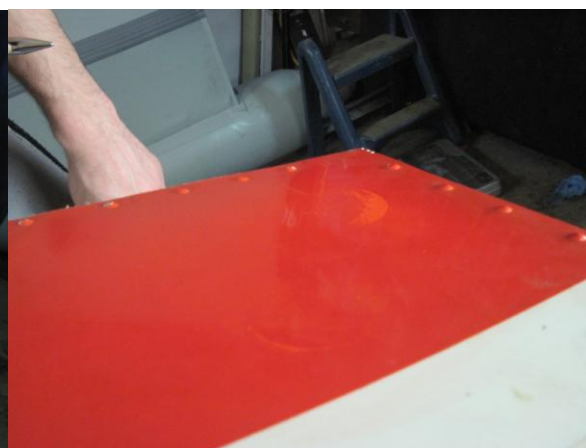
Po opravě



Před opravou



Po opravě



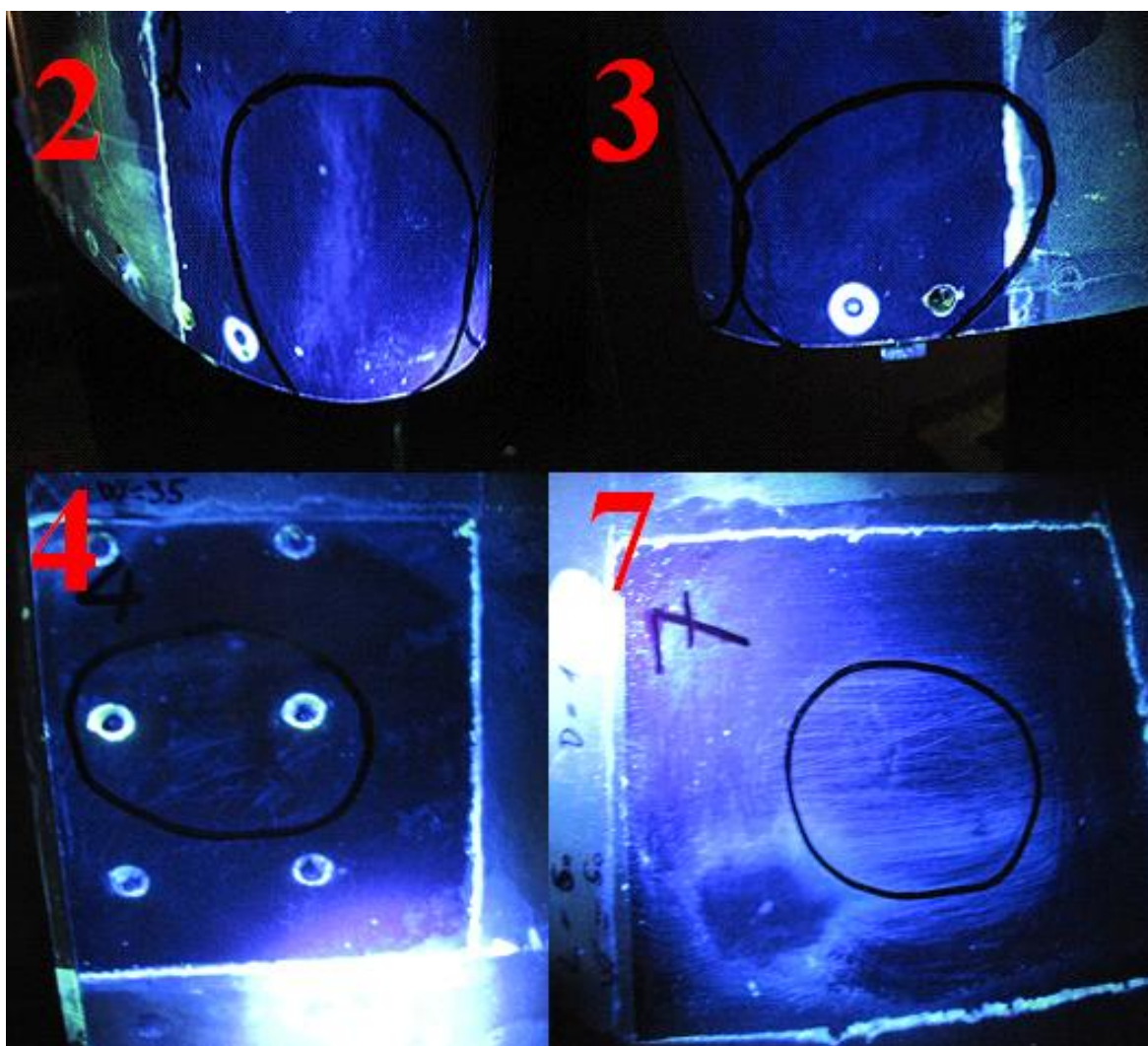
Obrázek 4.16: Výsledky aplikace vnitřní metody PDR

Tabulka 4.5: Vyhodnocení opravy

Poškození	Lokalizace	Použitý způsob opravy	Doba opravy	Výsledek	Poznámky
1	Oblast 1	Vytlačování	40 min	Dobrá	Nános byl poškozen při skladování křídla a následně při vytvoření poškození, důsledkem vysokého stáří nánosu
2	Oblast 1	Vytlačování, vytahování	30 min	Vynikající	
3	Oblast 1	Vytlačování	30 min	Vynikající	
4	Oblast 1	Vytahování	45 min	Velmi dobré	Projevilo se natažení plechu přes hranu pomocného nosníku
5	Oblast 2	Vytlačování	35 min	Vynikající	
6	Oblast 2	Vytlačování, vytahování	60 min	Dobrá	Nános byl poškozen ostrým zlomem a technologií rovnání, důsledkem vysokého stáří nánosu
7	Oblast 2	Vytlačování	35 min	Vynikající	
8	Oblast 3	Vytlačování	45 min	Vynikající	

4.3.8

Po provedení opravy za asistence společnosti RenoveCars, jsem opět převezl zkušební vzorek na oddělení NDT společnosti CEAM. Zde jsem ho připravil pro testování, zda se opravou nevytvořili trhliny v potahovém plechu a jestli došlo ke ztenčení tloušťky, v místech opravených dentů. Jako první jsem provedl měření vířivými proudy zda se nevytvořili v potahovém plechu trhliny, způsobené rovnáním dentu. Touto metodou jsem prověřil všech osm míst, kde byly opraveny jednotlivé denty. Postup vyšetření vířivými proudy byl stejný, jako u předchozích měření, viz příloha A. Výsledek na výskyt trhlín byl negativní u všech osmi opravených dentů. Pro kontrolu jsem ještě provedl penetrační zkoušku u čtyř z osmi opravených dentů, kterou jsem provedl na čistém potahovém plechu bez nánosů., výsledky jsou vidět na obrázku 4.17. Při provádění penetrační zkoušky jsem postupoval stejně jako u předchozích zkoušek touto metodou, viz příloha C. Výsledek u všech čtyř opravených poškození na výskyt trhlín byl také negativní.

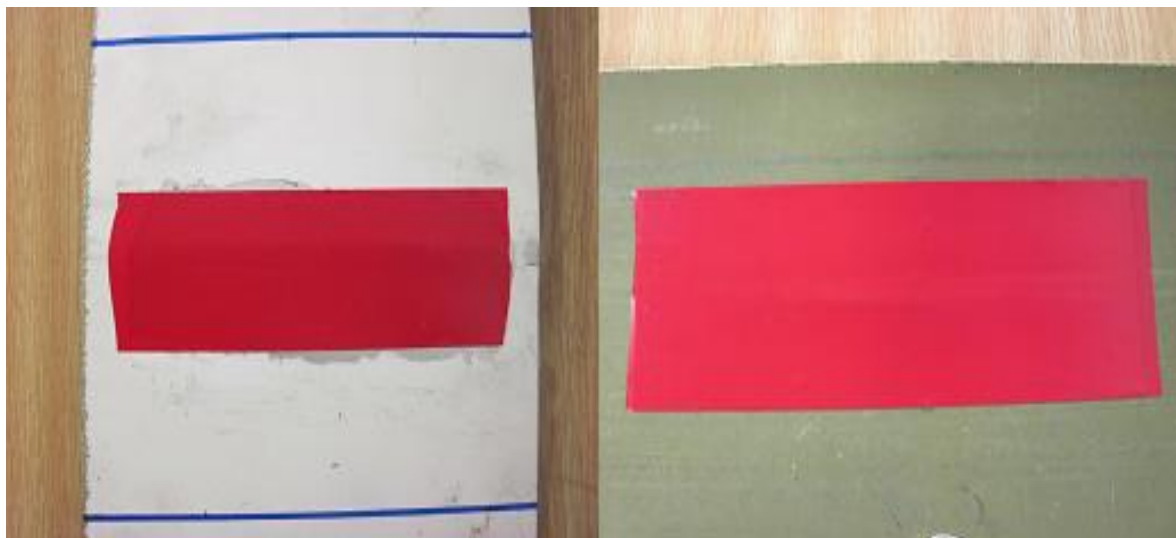


Obrázek 4.17: Výsledek penetrační zkoušky na dentech 2, 3, 4 a 7 po opravě metodou PDR

4.3.9

Jelikož byla všechna vyšetření na výskyt trhlin negativní, rozhodl jsem se provést test, při kterém poškodím potahový plech, který je totožný s potahovým plechem na zkušebním vzorku, do takové míry aby trhlina vznikla. Výsledkem tohoto testu chci prokázat přesnost detekce trhlin pomocí metody vířivých proudů a následně ji ověřit penetrační metodou.

Nejprve jsem si připravil potahový plech pro vzorky, který je totožný s potahovým plechem a zkušebním vzorku (křídla). Ten jsem získal při odstraňování potahových panelů z křídla letounu Zlín Z 142 za účelem vytvoření učební pomůcky pro nově zřízenou laboratoř Ústavu letecké dopravy, viz příloha M. Zároveň se také jedná o křídlo ze kterého jsem oddělil zkušební vzorek. Z potahového plechu sem odštíhl dva vzorky a podrobil jsem je mechanickému namáhání ve skružovačce a ohýbačce na plech. Jelikož došlo při mechanickém namáhání k narušení celistvosti nánosu barvy, rozhodl jsem ji odstranit aby její zbytky neovlivňovali průběh měření. Odstraněné nánosy barvu jsem nahradil dvěma vrstvami lepicí pásky, jak je patrné na obrázku 4.18. Za pomoci metody vířivých proudů jsem se snažil trhlínu lokalizovat a určit její délku a přibližnou polohu (tedy počátek, konec a směr). Měření jsem provedl obdobně jako u předchozích zkoušek metodou vířivých proudů, jen s tím rozdílem, že při této zkoušce jsem trhlínu objevil.



Obrázek 4.18: Zkušební vzorky s nahrazeným nánosem barvy pomocí lepicí pásky

Poté jsem trhlínu podle zjištěných údajů zakreslil a určil její polohu vzhledem k referenčním bodům (referenčními body byly v tomto případě okraje vzorku) - tabulka 4.6 a příloha L. Stejným způsobem jsme postupovali i při testu druhého vzorku.

Pro ověření zda jsem správně určil velikost, směr a polohu trhliny, pomocí metody vířivých proudů, jsem podrobil oba vzorky penetrační zkoušce. Postup při penetrační

zkoušce byl obdobný jako u předchozích zkouškách tohoto typu. Po vyšetření jsem trhliny opravdu nalezl a zaznamenal jsem jejich délku a polohu do tabulky 4.6.

Tabulka 4.6: Vyhodnocení lokalizace trhlin [mm]

	Trhlina 1				
	Délka	Levý okraj	Pravý okraj	Horní okraj začátek	Horní okraj konec
Vířivé proudy	75	48	47	72	75
Penetrační zkouška	76	47	47	72	75
	Trhlina 2				
	Délka	Levý okraj	Pravý okraj	Horní okraj začátek	Horní okraj konec
Vířivé proudy	60	90	110	52	54
Penetrační zkouška	60	90	110	52	54

Po porovnání údajů z penetrační zkoušky a ze zkoušky vířivými proudy, jsem zjistil, že lze trhliny pomocí metody vířivých proudů lokalizovat a určit jejich směr se stejnou přesností jako při použití penetrační zkoušky.

Tímto jsem tedy dokázal, že metoda testování vířivými proudy je dostatečně účinná pro přesnou detekci a lokalizaci trhlin pod nestejnorodou vrstvou nánosů a zároveň jsem prokázal, že výsledky testů provedených na zkušebním vzorku (části křídla) jsou objektivní a správné. Zároveň musím konstatovat, že lze tedy použít metody vířivých proudů pro detekci trhlin, za účelem snížení finančních a časových nákladů.

5. Zhodnocení cílů

Cílem mé bakalářské práce bylo představit technologii Paint less dent removal - PDR a aplikovat její postupy na letadlové technice. Zároveň jsem také prostřednictvím své bakalářské práce prezentoval metody Nedestruktivního testování – NDT, které jsem ve své práci několikrát použil a tak si ověřil jejich funkce a principy v praxi

Technologii PDR jsem představil v kapitole 6.1, kde jsem představil principy, funkčnost, výhody, nevýhody a její současné využití v automobilovém průmyslu. Následně jsem tuto technologii aplikoval pro opravu dentů na zkušební vzorek, kterým byla část křídla z letounu Zlín Z 142. Výsledky opravy dentů technologií PDR, z hlediska vizuální kontroly byli vynikající, ať už se jednalo o použití metody vytlačováním či vytahováním. Jelikož u oprav dentu na letadlové technice záleží především na výsledcích testů na výskyt trhlin a zbývající tloušťku potahového plechu, po vyrovnání dentu. Podrobil jsem tudíž opravené denty zkouškám na výskyt trhlin a zbývající tloušťku potahového plechu za pomoci několika metod NDT. Všechny výsledky těchto zkoušek byly negativní na výskyt trhlin a ztenčení tloušťky potahového plechu.

Tudíž výsledkem aplikace technologie PDR je časově nenáročná a finančně nenáročná oprava dentů a deformací plechových potahových panelů, při které odpadá nutnost rozmontování a opětovného smontování poškozených částí, za účelem opravy či přepravy do opravárenského zařízení. Zároveň se při použití technologie PRD nepoškodí celistvost potahového plechu, neztenčí jeho tloušťka a nenaruší antikorozi a estetické nánosy, čímž se dosáhne značné úspory času a zejména financí pro takovéto opravy.

Jak jsem zde již zmínil, ve své práci jsem použil dvě rozdílné metody pro detekci trhlin. Jednalo se o testování metodou výrovými proudy a penetrační zkoušku, princip a postupy pro tyto metody jsou popsány v kapitole 5.2.1. Rozhodl jsem se porovnat tyto rozdílné metody s ohledem na jejich účinnost, přesnost, rychlost a tudíž i finanční hledisko. Po provedení zkoušek oběmi metodami na zkušebním vzorku, byly výsledky na výskyt trhlin negativní. Proto jsem provedl ještě dva testy na uměle vytvořených trhlínách, které jsem opět testoval oběmi metodami jak je uvedeno v kapitole 6.3.9. Prostřednictvím metody vířivých proudů jsem trhlínu detekoval a určil její polohu a směr přes simulovanou vrstvu nánosu, a poté jsem tutéž trhlínu detekoval prostřednictvím penetrační zkoušky. Výsledek toho testu prokázal, že trhlínu lze detekovat a přesně lokalizovat oběmi metodami.

Tudíž výsledek porovnání metody vířivých proudů a penetrační zkoušky jsem dokázal, že metoda vířivých proudů je stejně přesná jako penetrační zkouška. Z ohledem na finanční a časové náklady při detekci těmito dvěma metodami, je metoda vířivých proudů značně na výši. Jelikož je možná detekce a přesná lokalizace trhlin i přes nesouvislou vrstvu nánosů a tím se výrazně snižují časové a finanční náklady na odstraňování barevných nánosů a před provedením penetrační zkoušky a opětovnou aplikaci nánosů.

Hlavním cílem mé bakalářské práce bylo ověřit, zda by bylo finančně a časově výhodnější nahradit stávající technologie užívané při vyhodnocování a opravách dentů plechových potahových panelů. Po provedení testů na zkušebním vzorku a jejich výsledném vyhodnocení, můžu konstatovat, že jsem vytyčené cíle splnil a předložil jsem dostatečně prokazatelné důkazy, které má tvrzení potvrzují.

6. Závěr

Ve své bakalářské práci jsem představil možné druhy poškození potahových panelů letounů, příčiny a důsledky jejich vzniku, přičemž jsem se hlouběji zabýval denty, nebo-li deformacemi potahového plechu a uvedl současný systém vyhodnocení a oprav dentů, předepsaný výrobcí Boeing a Moravan Otrokovice. Dále jsem v této práci představil technologii Paint less dent removal – PDR a úspěšně jsem ji aplikoval pro opravu dentů na křídle z letounu Zlín Z 142, jehož část jsem použil jako zkušební vzorek pro svou bakalářskou práci. Tuto opravu dentů a její možné ovlivnění potahového plechu vzorku, například zda se nevytvořili trhliny či jestli se ztenčil průřez potahového plechu, jsem ověřil pomocí metod Nedestruktivního testování – NDT. Výsledky těchto testů byly negativní, což znamená že potahový plech nebyl opravou poškozen a nebyla ani narušena vrstva barevného nánosu. Při použití metod NDT jsem se rozhodl porovnat přesnost a spolehlivost penetrační zkoušky a metody vířivých proudů, čím jsem chtěl prokázat kvality metody vířivých proudů pro detekci trhlin pod nestejnou vrstvou nánosu. Tento test proběhl úspěšně a výsledek prokázal, že detekce trhlin pomocí metody vířivých proudů je dostačující.

Závěrem lze tedy říci, že technologie PDR se osvědčila pro opravy lehkých deformací potahového plechu na letounech nízké váhové kategorie (letouny typu Z42, Z43, Z142....), pravděpodobně by bylo možné tuto technologii aplikovat i větší letouny, pro tento pokus jsem ale bohužel nezískal potřebný zkušební materiál. Opravou pomocí technologie PRD nevznikli trhliny a ani jinak se neporušila celistvost potahového plechu, nebyly narušeny barevné nánosy ani antikorozi ochrana. Použitím technologie PDR se značně urychlí oprava takovýchto poškození a sníží náklady na opravy barevných nánosů, antikorozi ochrany a maximálně se sníží se riziko výskytu trhlin, které vznikají opravami vyklepáváním a podobně. Zároveň jsem prokázal přesnost detekce trhlin metodou vířivých proudů přes vrstvu nánosů a tím poukázal na možnost výrazného snížení nákladů a úspory času, oproti použití penetrační zkoušky, pro jejíž provedení je zapotřebí odstranit veškeré nánosy a antikorozi ochranu a poté je nanést zpět a vyšetřované místo.

7. Seznam použité literatury

- [1] Kopec B. a kol: Nedestruktivní zkoušení, CERM s.r.o., 2008, Brno, 571 stran, ISBN 978-80-7204-591-4
- [2] Větech M. a kol: Defektoskopie v otázkách a odpovědích, SNTL, 1989, Praha, 328 stran, ISBN 80-03-00100-5
- [3] Boeing Proprietary: Structural Repair Manual B737 – 700, Boeing, 2003
- [4] Boeing Proprietary: Aircraft Maintenance Manual (AMM) B737 – 700, Boeing, 2003
- [5] Boeing Proprietary: Aircraft Illustrated Part Catalog (AIPC) B737 – 700. Boeing, 2003
- [6] Moravan Otrokovice: Opravárenská příručka letounu Zlín Z 142, MNPO, 1989
- [7] <http://renovecars.cz/index.php> (13. prosince 2009)
- [8] <http://renovecars.cz/index.php?pg=fotogalerie> (7. března 2010)
- [9] <http://cesar.fme.vutbr.cz/informace/nezelezo/At18.htm> (9. dubna 2010)
- [10] <http://translate.google.cz/#en|cs> (2009/2010)

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat panu Josefu Hranickému, který mi daroval křídlo z letounu Zlín Z 142, zprostředkoval a zorganizoval jeho přepravu. Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům společnosti JOB AIR Technic, konkrétně pracovníkům z oddělení NDT a to jmenovitě panu Jiřímu Brusovi a Ing. Petru Paličkovi, kteří mi pomohli při testech metodami NDT a tím i získání mnoho cenných podkladů a poznatků. Dále pak nesmím opomenout poděkovat pracovníkům klempířské a strojní dílny, jmenovitě Petru Tomanovi, Stanislavu Petříkovi, Petru Souškovi a Ondřeji Svobodovi, za poskytnutou pomoc při demontáži výše zmiňovaného křídla a spolupráci při pokusech a testech na zkušebním vzorku.

Seznam příloh

Příloha A – NDT- Metoda vířivých proudů.....	56
Příloha B – NDT- Ultrazvukové měření.....	71
Příloha C – NDT - Kapilární (penetrační) kontrolní metody.....	79
Příloha D – PDR oprava velkého poškození	92
Příloha E – PDR oprava hlubokého poškození	93
Příloha F – Vlastnosti potahového plechu.....	94
Příloha G – Místa vybraná pro poškození.....	95
Příloha H – Penetrační zkouška – foto.....	96
Příloha I – Trhlina – penetrační zkouška.....	98
Příloha J – Denty – foto.....	99
Příloha K – Výsledek penetrační zkoušky - denty.....	101
Příloha L – Detekce trhlin - foto.....	102
Příloha M – Učební pomůcka.....	103

Příloha A:

BOEING – NDT

Metoda vířivých proudů

Úvod

- A. Tento postup použijte pro inspekci povrchových trhlin v hliníkových dílech.
- B. Tento postup používá indikaci impedance na displeji přístroje.
- C. Část 7, obrázky – alternativní druhy kontrol.
- D. Tento manuál je rozdělen do jednotlivých sekcí.

- 1) Zařízení
- 2) Příprava pro inspekci
- 3) Kalibrace přístroje
- 4) Postup
- 5) Výsledky inspekce
- 6) Obrázky

1. Zařízení

A. Obecné

- 1) Použití kontrolních zařízení, které lze kalibrovat na referenčním standardu, jak je uvedeno v odstavci 4.
- 2) Viz část 1, 51-01-00, pro údaje od výrobce zařízení.

B. Nástroje

- 1) Použijte nástroje indukující vířivé proudy, které:
 - a) Rovnoměrně převede impedanci
 - b) Pracuje na frekvenčním rozsahu 50kHz až 500kHz.
- 2) Listiny uvedené níže byly použity pro přípravu tohoto postupu.
 - a) Phasec 1,1; Machek Krautkrämer.

b) Nortec NDT-19e, Staveley Instruments.

c) MIZ-22, Zetec, Inc

C. Sondy

1) Použité sondy:

a) Pracují na frekvenci v rozmezí 50kHz až 500 kHz.

b) Má konfiguraci jak je podrobně uvedeno v obrázku A.1

c) Lze dostatečně zkontrolovat úhlovou odchylku, jak je znázorněno na obrázku A.2

d) Lze dostatečně otestovat sondy podle obrázku A.3. To je nezbytné, pokud je v blízkosti testované oblasti jiný konstrukční prvek.

POZNÁMKA

Stíněné sondy jsou doporučena.

D. Referenční standardy

1) Použití referenčních standardů 126, 188a, 189 nebo NDT 1048. Podrobnosti - obrázek A.4 až A.7 pro data o referenčních standardech.

2) Ostatní referenční normy mohou být použity, pokud jsou ekvivalentní a jsou uvedeny v obrázcích A.4 až A.7.

E. Speciální nářadí

1) Použijte nevodivé kruhové šablony, jak je uvedeno v obrázku A.9, jejich pomocí prozkoumejte okolí zapuštěných hlav nýtů.

2) Používejte nevodivé pravítko, jak je uvedeno v obrázcích A.10 a A.11 a s jeho pomocí přezkoumejte okraje dílů.

POZNÁMKA

Kruhová šablona a pravítko pomáhají udržovat sondu v konstantní vzdálenosti od spojovací hlavy nebo okraje. Signál se bude pomalu zvyšovat, když se sonda dostane blíže ke hraně dílu.

2. Příprava pro inspekci

A. Získejte přístup ke kontrolovanému místu.

B. Odstraňte volnou barvu, špínu, tmel a těsnění z oblasti určené pro inspekci.

3. Kalibrace přístroje

A. Nastavte frekvenci mezi 50kHz a 500 kHz.

POZNÁMKA

Chcete-li zkoumat rýhy, nastavte frekvence mezi 50kHz a 150kHz, pokud je to možné.

B. Kalibraci přístroje proveďte na platném referenčním standardu dle odstavce 5E, identifikuje typy konstrukčních konfigurací, které mohou být přezkoumány. Referenční normy lze použít pro různé konstrukční konfigurace, které budou zkoumány:

1) Velké plochy, v blízkosti okraje, na hraně, rádius: Použít referenční standard 126.

POZNÁMKA

Chcete-li prozkoumat oblast, kde byly rýhy odstraněny, je povoleno používat referenční standard se zářezem 0.20mm. Není povoleno používat zářez, která je menší než 0.20mm.

2) Pro nýty a šrouby se zapuštěnou hlavou: Použití referenční standard NDT1048.

3) Pro nýty a šrouby s půlkulatou hlavou: Použití referenční standard 188a.

C. Nastavte svislé do vodorovné polohy, abyste získali mezi 2:1 a 4:1.

D. Nastavení filtrů se mění takto:

1) Nastavte horní propusti filtru off nebo 0 Hz.

2) Pokud má přístroj nízkou propust:

a) Nastavte dolní pásmovou propustnost na jeho nejvyšší hodnotu.

b) Snižte hodnoty filtru, aby se dostal na stabilní bod.

E. Dejte nevodivou podložku na referenční standard. Tloušťka podložky musí být rovnoměrně 0,08mm, aby odpovídala tloušťce barvy na letounu.

F. Nasad'te sondy na referenčním standardu nejméně 12,7mm od zářezu a okrajů.

G. Vycentrujte nástroj (sondu).

H. Upravte vyvážení bodu na 20%, jak je uvedeno v obrázku A.8.

- I. Nastavte přístroj pro start inspekce. Nastavte fáze kontroly, aby se signál pohyboval vodorovně doleva, když se sonda oddálí od povrchu součásti.
- J. Pohybujte sondou přes zářez v referenční standardu.
- K. Nastavte příjem signálu tak, že je 20% až 40% nad středem displeje, jak je podrobně uvedeno v obrázku A.8.
- L. Má-li přístroj i zvukovou signalizaci, nastavte ji tak jak je uvedeno v obrázku A.8
- M. Rychlost pohybu sondy přes zářez v referenční standardu, by neměla být větší než je rychlosti skenování. Rychlost pohybu sondou je příliš velká v případě, že signál je nižší než 90%.

4. Postup

- A. Nasad'te sondu na povrch určený k inspekci.
- B. Vycentrujte přístroj.
- C. Přizpůsobte rovnováhu bodu na 20%, jak je uvedeno v obrázku A.8.

POZNÁMKA

Nenastavujte zisk. Zisk upravte, pokud by kalibrace nevyhovovala.

- D. Ujistěte se, že se signál pohybuje vodorovně doleva, když oddálíte sondu od povrchu.
- E. Pomalu proved'te inspekci oblasti a sledujte zobrazené údaje na displeji. Pro provedení inspekce postupujte takto:
 - 1) Použijte inspekční vzor, který:
 - a) Vám pomůže najít praskliny, které jsou 3,8mm dlouhé (Pokud není uvedeno jinak)
 - b) Postupuje se sondou přes rýhu pod úhlem 90°. To zvyšuje pravděpodobnost, že najdete vadu.

POZNÁMKA

Chcete-li prozkoumat oblast, v níž byly rýhy odstraněny broušením, proveďte inspekci malými posuny přes místo, kde rýha byla. Nedělejte posuny příliš velké, protože to může způsobit falešnou indikaci v závislosti na měnící se tloušťce.

- 2) Při inspekci nepohybujte sondou rychleji, než je maximální povolená rychlost skenování, která byla zjištěna při kalibraci.
- 3) Pro inspekci strukturálně nakonfigurujte takto:
 - a) Velké plochy: použijte distribuční soustavy pro kontrolu velkých oblastí. Mřížky musí být rozmístěny tak, aby se sonda pohybuje podél čar mřížky, tak že přes nejmenší rýhu, kterou chcete najít, bude alespoň dvakrát převedena.

POZNÁMKA

Pokud si nejste jisti minimální délkou trhliny použijte referenční standard s délkou zářezů 3,8mm.

- b) Pro nýty a šrouby se zapuštěnou hlavou použijte nevodivou kruhovou šablonu. Vložte šablonu a připevněte sponkou, tak aby jste mohli najít praskliny 2,5mm od hlavy nýtu či šroubu, jak je uvedeno v obrázku A.9.
 - c) Pro nýty a šrouby s půlkulatou hlavou zakryjte hlavy nebo použijte podložku, tak aby jste mohli najít praskliny, které přesahují 2,5mm od hlavy nýtu či šroubu, jak je uvedeno v obrázku A.12.
 - d) Chcete-li zkoumat poloměr (rádius) dílu, tak aby byla sonda kolmo k povrchu, pokud není znám směr trhliny, pohybujte sondou podél a přes rádius, jak je znázorněno v obrázku A.13, čímž se dají najít 3,8mm dlouhé trhliny.
 - e) Pokud děláte inspekce blízko hrany dílu, použítí nevodivé pravítko, aby sonda byla stále ve stejné vzdálenost od okraje součásti jak je na obrázcích A.10 a A.11.
- 4) Označte místa na součásti, která indikovala signály, který je více než 20% nad středem displeje.
- 5) Často kontrolujte kalibraci přístroje, takto:
 - a) Dejte sondu na referenční standard aby jste získali signál ze zářezu.
 - b) Porovnejte hodnotu signálu se zářezem, při kalibraci musíte dostat signál hned.
 - c) Změnil-li se signál o 10% nebo více, proveďte kalibraci znovu.

5. Výsledky inspekce

- A. Rychlé indikace signálu, které jsou více než 50% z výšky signálu na referenčním zářezu, jsou příznaky vad.
- B. Porovnejte signál, který vzejde z inspekce se signálem od zářezu v referenčním standardu. Falešný signál může mít menší horizontální pohyb než signál ze zářezu v referenčním standardu - obrázek A.8. Chcete-li najít konec trhliny, pohybujte sondou napříč neporušenou částí, dokud signál nezesílí.
- 1) Odhadnout hloubku trhliny, která je menší než 0,5mm, jde porovnáním horizontálního signálu od trhliny. Referenční standard se zářezů, které jsou menší než 0,5mm hluboké můžeme také použít.
- C. Podmínky uvedené níže mohou způsobit defekt signálu:
- 1) Sonda se pohybuje příliš blízko k okraji. Použijte nevodivé pravítko aby jste udrželi sondu ve stejné vzdálenosti od okraje.
 - 2) Opotřebování cívky sondy. Dejte kus pásky na povrchu sondy nebo vyměňte sondu a kalibrujte přístroje znovu.
 - 3) Místní změny ve vodivosti materiálů. Porovnejte signál se signálem z referenčního standardu. Signály z materiálu se změnou vodivosti bude pomalejší, než signál z referenčního standardu.
- D. Proved'te jeden z postupů, které následují, aby jste se ujistili, že signál správně indikuje vady.
- 1) Odstraňte povrchovou úpravu a udělejte vizuální prohlídku pomocí zvětšení (lupa, mikroskop) a dostatkem světla.
 - 2) Proved'te penetrační zkoušku v dané oblasti jak je uvedeno v SRM pro "Kapilární kontrolní metody".

6. Obrázky

Uvedená konfigurace sondy může být použita pro inspekci většiny oblastí, pokud se rozhodnete použít tužkovou sondu, je nutné jí nově nakonfigurovat.

Rozměry:

A – výška sondy – vnitřní

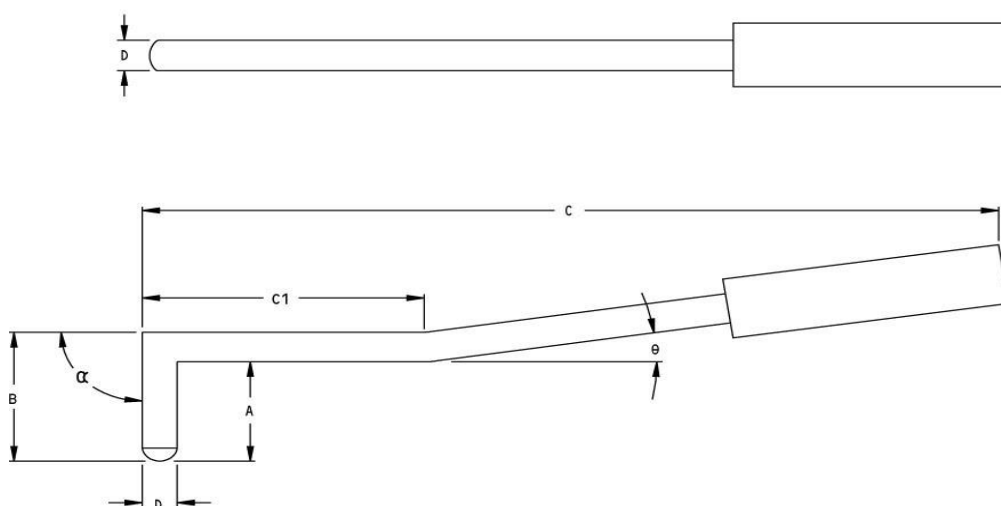
B – výška sondy – vnější

C – délka sondy včetně rukojeti

Jelikož je část dřívku ohnutá, musíme znát rozměr C1 a úhel Theta. Pro většinu použití, je délka sondy 76,0mm - 127,0mm

D – průměr sondy - 5,1mm je maximum

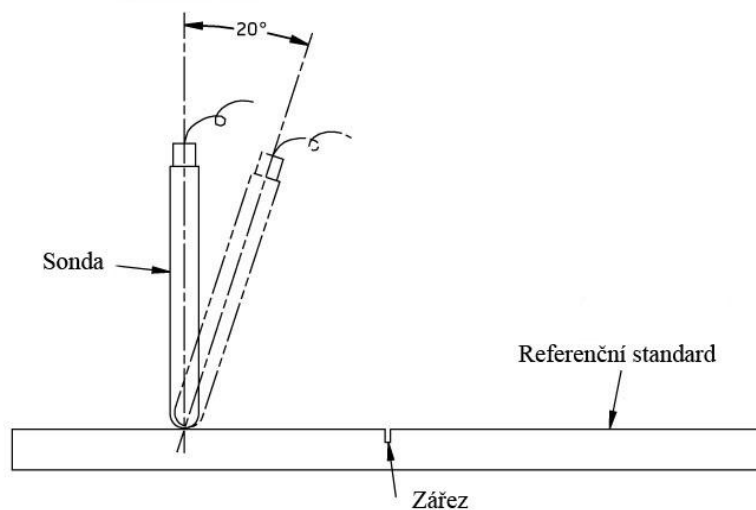
α – úhel mezi dřívkem sondy a inspekční částí - může být různý



Obrázek A.1

Chcete-li zjistit úhlovou výchylku pro zachování účinnosti:

- Zkalibrujte sondu a přístroj podle o odstavce 4.
- Nakloňte sondu o 20° a vyzkoušejte funkci na referenčním standardu. Vychýlení sondy nesmí způsobovat na displeji výchylku signálu větší než 10%.
- Přiložte sondu k zářezu referenčnímu v standardu, pokud je sonda kolmo nebo vychýlena o 20°, neměl by být rozdíl v signálu na displeji více než 30%.

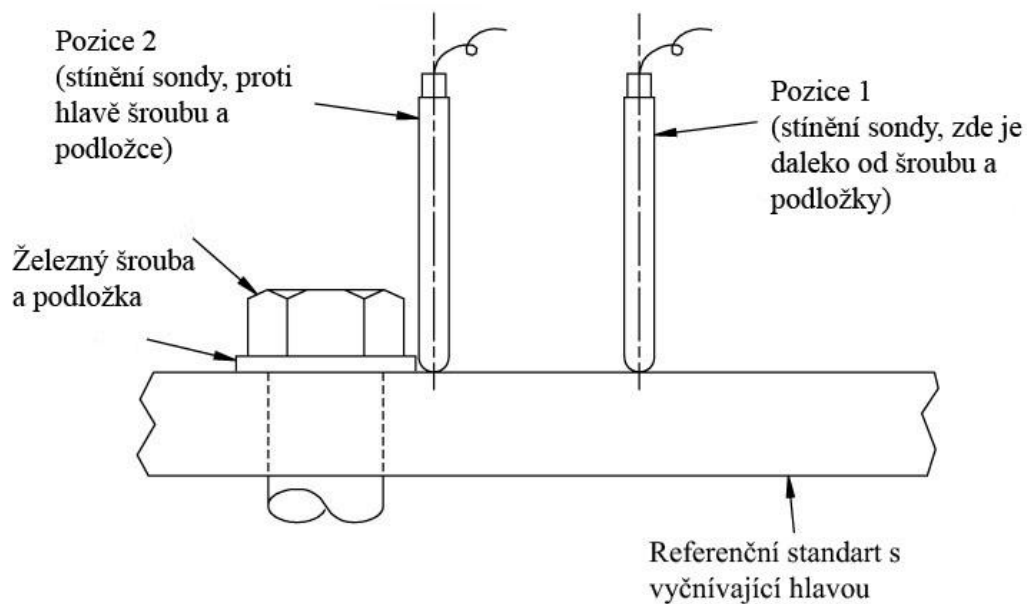


Obrázek A.2

Určete, zda je sonda dostatečně odstíněna:

- Zkalibrujte sondu a přístroj na referenčním standardu 188a podle odstavce 4.
- Dejte sondu k vyčnívající hlavě šroubu a pohybujte s ní směrem od hlavy šroubu.

U vodivých materiálů nesmí při kalibraci signál od zářezu o více než 10%. Pokud se signál změní o více jak 10%, je nutné udělat inspekci kolem díku šroubu



. Obrázek A.3

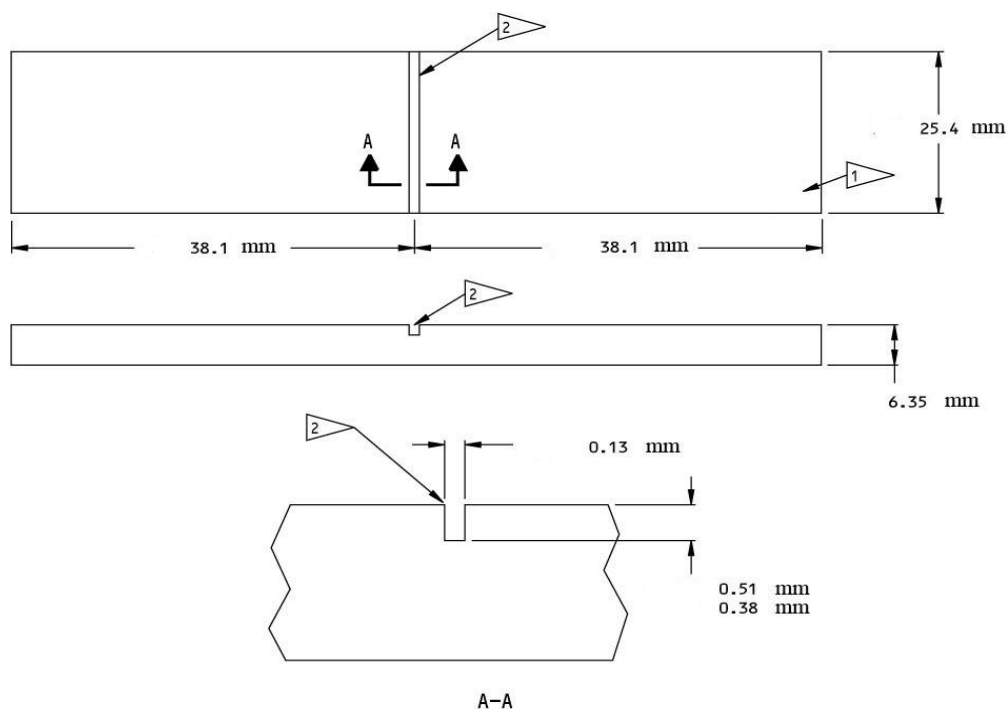
Materiál: 2024-T3 OR-T4, 7075-T6 OR-T73, 7079-T6 nebo 7178-T6 hliníku.

Tolerance rozměrů je 1,3mm, pokud není stanoveno jinak.

Drsnost povrchu je 63 nebo lepší, viz NDT ČÁST 1, 51-01-00, pro vlastnosti referenčního standardu.

1> Hliníkový nebo ocelový referenční standard číslo "126"

2> Zářez



Obrázek A.4

Materiál: 2024-T3 nebo T4, 7075-T6, 7079-T6, 7178-T6

Povrchová úprava: 63 nebo lepší.

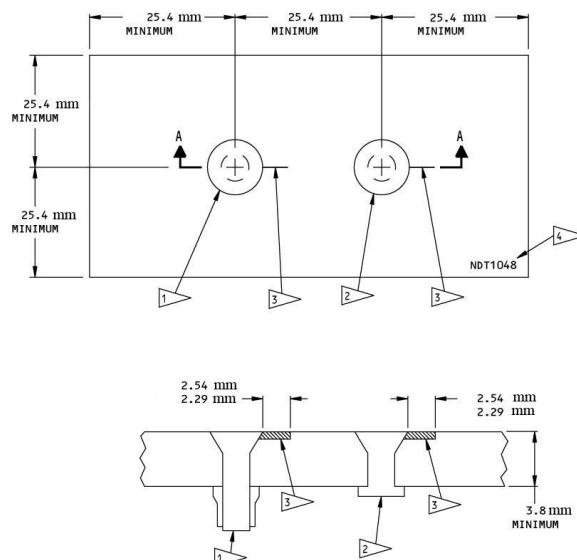
Pokud máte odkaz na referenční standard 187, můžete jej použít pro kontrolu okolí hliníkových nýtů.

1> Dřík o průměru 6.4mm se zapuštěnou hlavou ocelového šroubu - BACB30JC8-*

2> Dřík o průměru 6,4mm se zapuštěnou hlavou hliníkového nýtu - BACR15BA * DD *

3> Zářez s maximální šířkou 0,13mm a hloubkou 0.38mm - 0.51mm.

4> Hliník nebo ocel NDT1048 referenční standard.



Obrázek A.5

Materiál: 2024-T3 OR-T4, 7075-T6, 7079-T6 nebo 7178-T6 hliník

Tolerance 1.27mm pokud není specifikováno jinak.

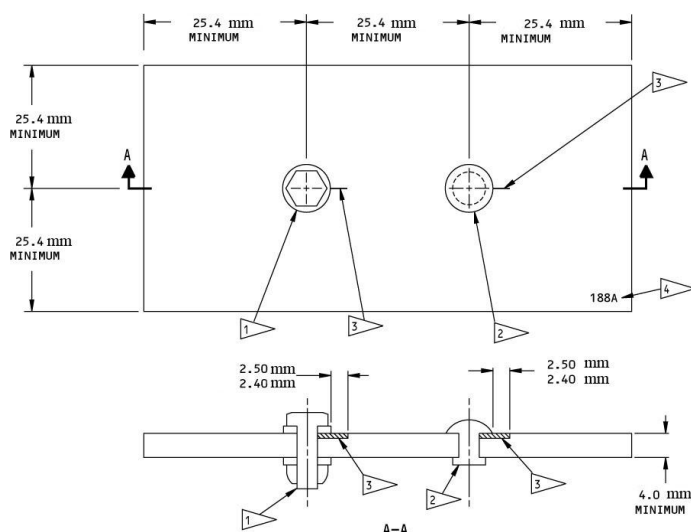
Drsnost povrchu 63 nebo lepší, viz NDT ČÁST 1, 51-01-00, pro vlastnosti referenčního standardu.

1> Dřík o průměru 6,4mm s vyčnívající hlavou ocelového šroubu - BACB30NE a ploché ocelové podložky - BACW10AK * WP.

2> Nýt BACR15BB6AD5

3> Zářez s maximální šířkou 0,13mm a hloubkou 0.38mm - 0.51mm.

4> Hliník nebo ocel číslo "188a" referenční standard.



Obrázek A.6

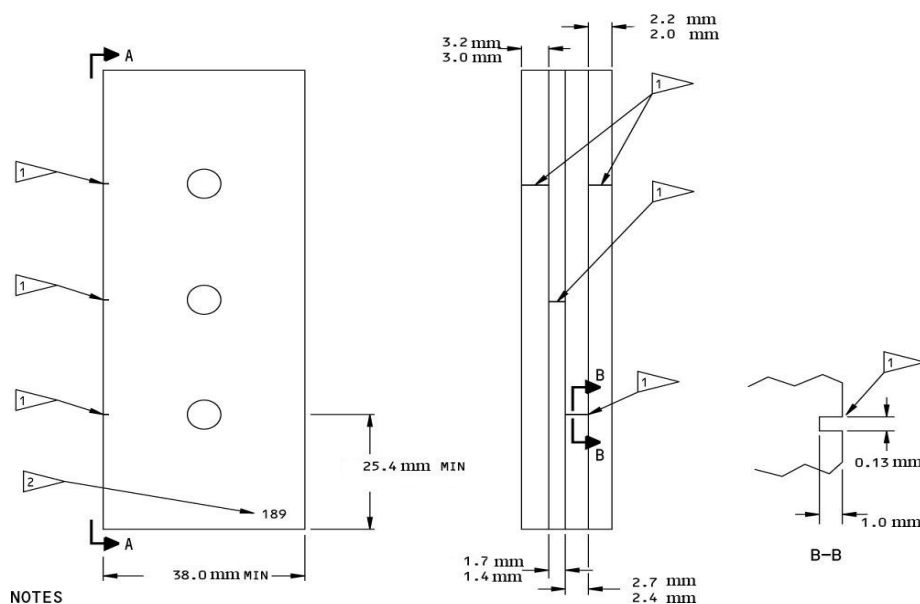
Materiál: 2024-T3 nebo T4, 7075-T6, 7079-T6 nebo 7178-T6 hliník (všechny části musí být ze stejné slitiny a stejně tepelně zpracovány).

Tolerance 1.27mm pokud není specifikováno jinak.

Drsnost povrchu: 63 nebo lepší, viz NDT ČÁST 1, 51-01-00, pro vlastnosti referenčního standardu.

1> Zářez o maximální šířce 0,13mm a hloubce 1.0mm.

2> Hliník nebo ocel číslo "189" referenční standard.



Obrázek A.7

Příklad zobrazení výše uvedených údajů ukazuje, kam umístit alarmující hodnoty podle odstavce

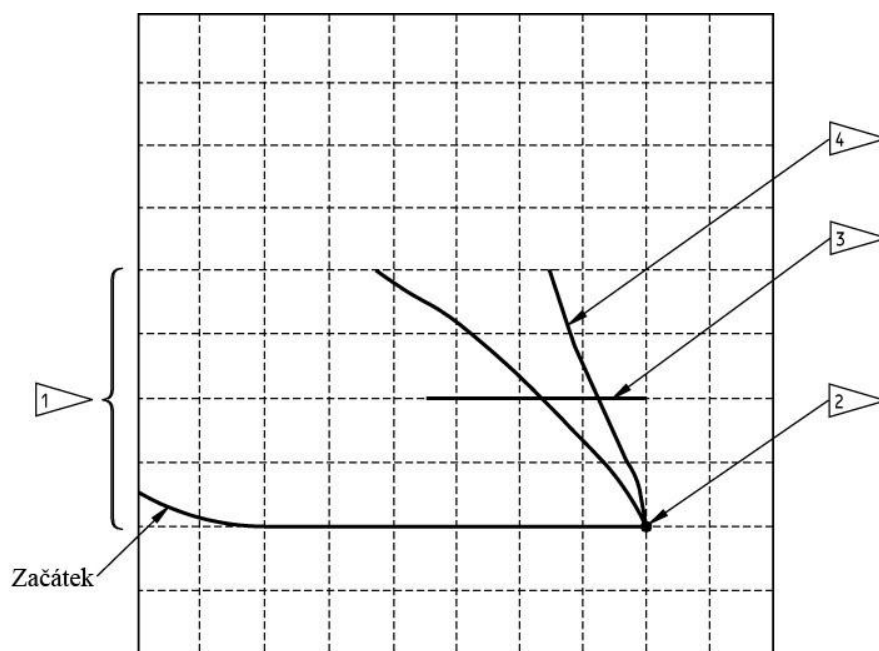
4.

1> Signál ze zářezu na referenčním standardu je stanoven na 20% až 40% nad středem displeje.

2> Vyvážení bodu.

3> Varování (50% signálu ze zářezu v referenčním standardu)

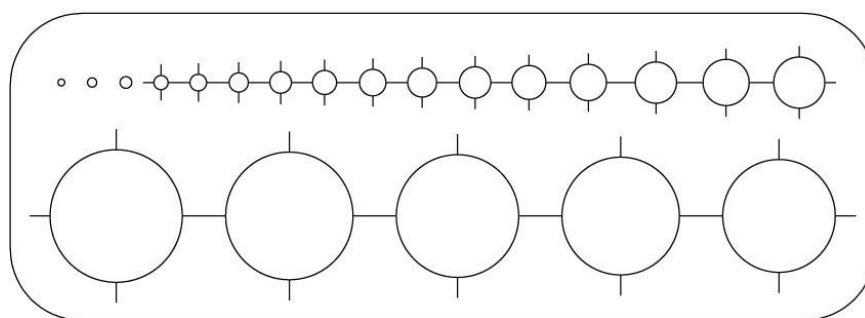
4> Signál vady může být přibližně rovnoběžný se signálem z řezu na referenčním standardu.



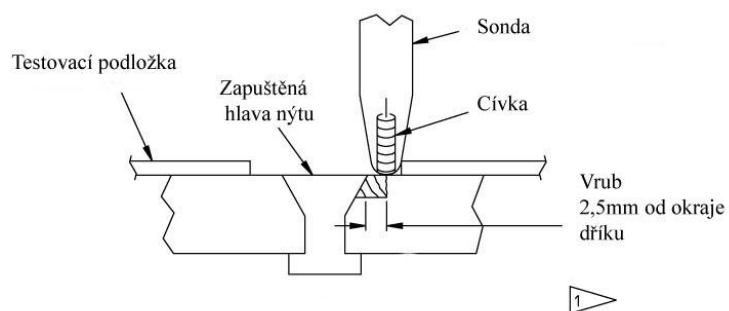
Obrázek A.8

Požijte průměr otvoru v inspekční šabloně, který umožní najít praskliny, které jsou ve vzdálenosti 2,5mm.

1> Toto je minimální délka zářezu, kterou můžete objevit tímto postupem.



Nevodivá šablona



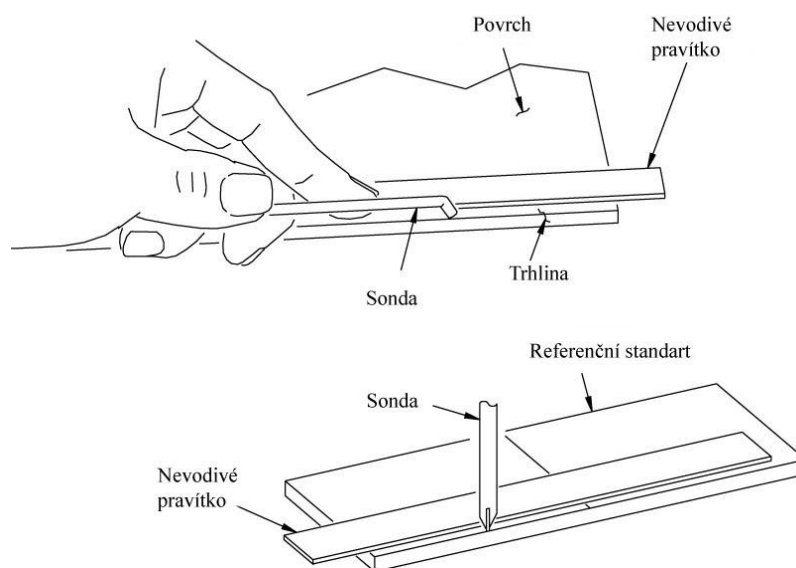
Obrázek A.9

Poloha nevodivého pravítka musí být konstantní od hrany součásti.

Minimální vzdálenost sondy od hrany závisí na průměru sondy, a pokud je sonda odstíněna nebo ne.

Určete minimální vzdálenost sondy od okraje:

- Kalibrace přístroje je uvedena v odstavci 4.
- Poloha nevodivé pravítka musí být v konstantní vzdálenosti od hrany referenčního standardu 126.
- Přiložte sondu podél pravítkem a sledujte displej. Dodržujte minimální vzdálenost sondy od okraje, když signál z řezu klesne pod 90%, zkontrolujte kalibraci, nebo když nefunguje výstraha.



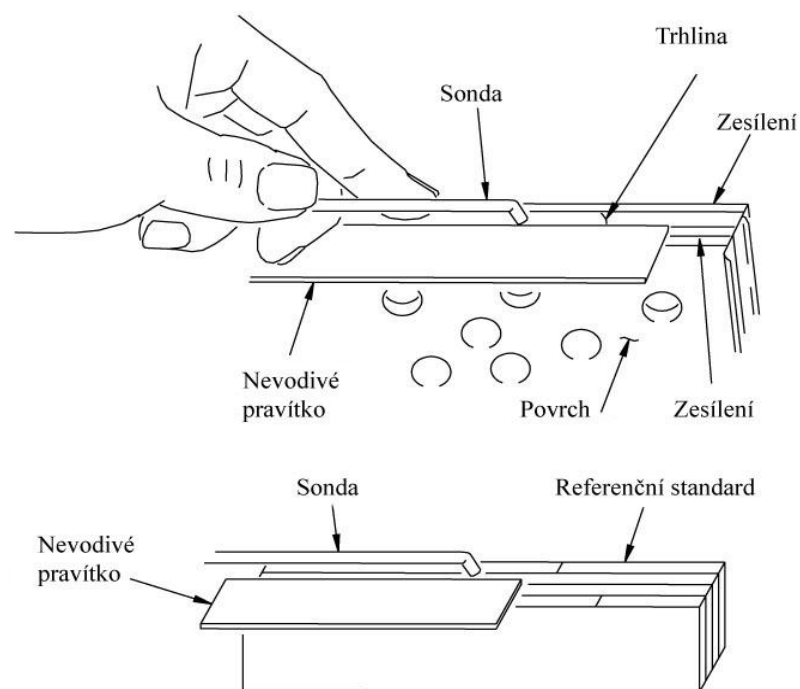
Obrázek A.10

Poloha nevodivého pravítka musí být v konstantní vzdálenosti od hrany dílu.

Minimální šířka, zkoumaného dílu musí být taková aby odpovídala druhu a průměru cívký sondy, záleží, zda je sonda stíněná nebo nestíněná.

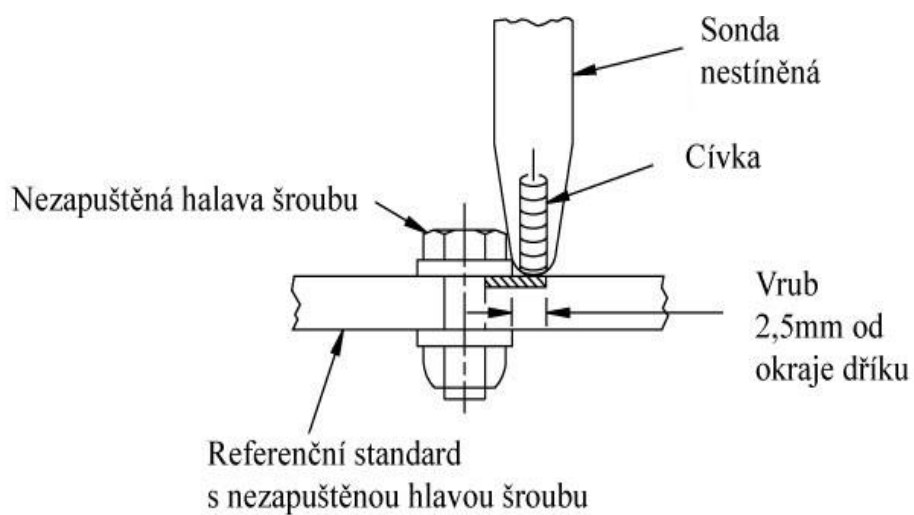
Chcete-li určit minimální šířku. Musí být nejprve prověřen IT na trhliny:

- Kalibrovat přístroj jak je uvedeno v odstavci 4, využijte referenční standard 126.
- Přiložit nevodivé pravítko v konstantní vzdálenosti podél vrubu, viz referenční standard 189.
- Přiložte sondu podél pravítkem a sledujte displej. Dodržujte minimální vzdálenost sondy od okraje, když signál z řezu klesne pod 90%, zkontrolujte kalibraci, nebo když nefunguje výstraha.



Obrázek A.11

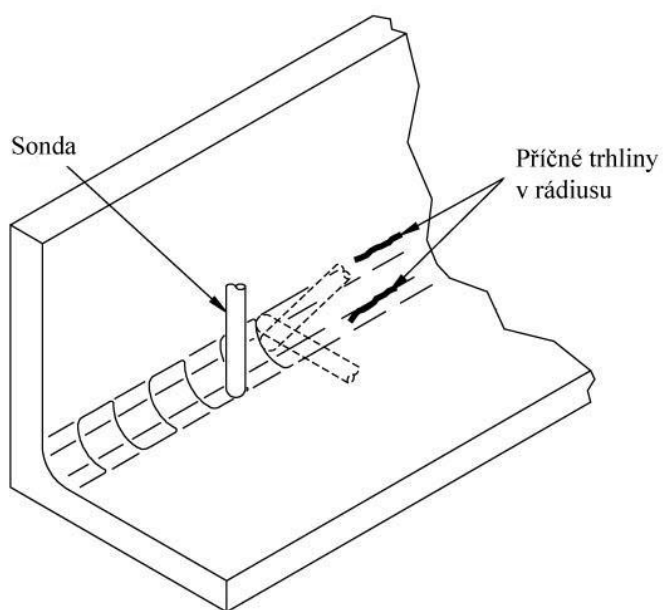
Použijte hlavu šroubu nebo podložku, jako testovací šablonu.



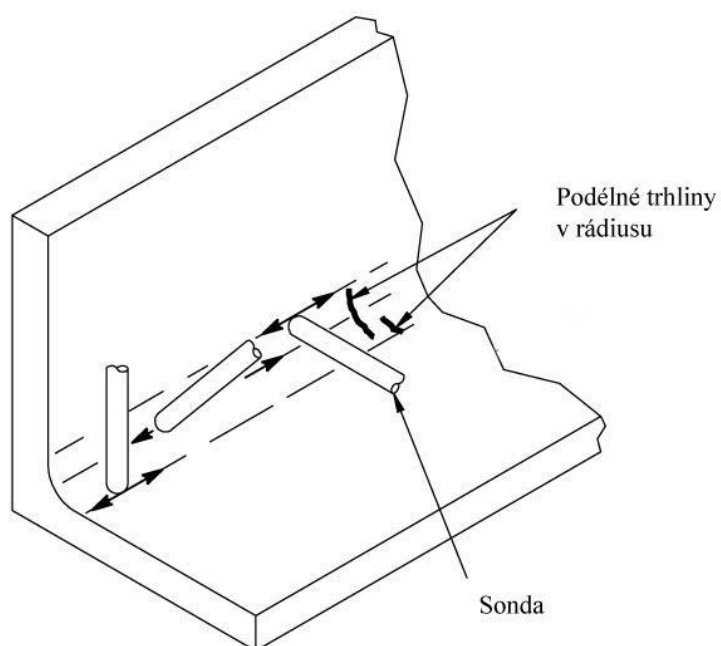
Obrázek A.12

Držte sondu kolmo k povrchu rádius.

Dodržujte vzdálenost mezi inspekčními kroky tak, že při přechodu přes podélné trhliny, půjdete sondou alespoň dvakrát.



Podélné vyšetření



Příčné vyšetření

Obrázek A.13

Příloha B:

BOEING - NDT

Ultrazvukové měření

Úvod

- A. Tento postup použijte k měření tloušťky dílů s čistým (holým) povrchem.
- B. Pro toto měření použijte pouze tloušťkoměr s digitální indikačním displejem, pokud chcete použít A-scan přístroj s digitálním displejem.
- C. Rozsah tloušťky doporučené pro kontaktní snímače je 12,7mm - 127mm. Skutečný rozsah měření, je pro každý měřený materiál jiný - dle funkce nástroje, snímače a zkušebního materiálu. Odkazují se proto na výrobce přístroje a manuál pro správné měření tloušťky.
- D. Zkoušené díly, musí být tímto postupem vyšetřeny současně z obou stran.
- E. Přesnost měření tloušťky je funkcí: stavu povrchu, tvaru a materiálových vlastností částí, které mají být měřeny.
- F. Tento manuál je rozdělen do jednotlivých sekcí:
- 1) Zařízení
 - 2) Příprava pro inspekci
 - 3) Kalibrace přístroje
 - 4) Postup inspekce
 - 5) Výsledky inspekce
 - 6) Obrázky

1. Zařízení

A. Obecné

- 1) Použijte kontrolní zařízení, které lze kalibrovat na referenčním standardu, jak je uvedeno v části 4.
- 2) Odkaz: Část 1, 51-01-00, pro údaje od výrobce zařízení.

B. Nástroje

- 1) Využití ultrazvukového přístroje
 - a) Má digitální displej pro indikaci hodnot tloušťky.
 - b) Pracuje v kmitočtovém pásmu 5 až 20 MHz.
- 2) Zdroje použité k přípravě tohoto postupu.
 - a) CL3 DL; Krautkrämer LNE.
 - b) T - MIKE E; StressTel Corp.
 - c) 25DL; Panametrics (Olympus)

C. Snímače

- 1) Použití vysoce tlumeného a širokopásmového připojení snímače.

POZNÁMKA

Některé snímače jsou součástí přístroje jako soubor a ostatní snímače nemusí s nástroji správně komunikovat.

- a) Pracují na frekvenčním pásmu mezi 5MHz a 20MHz.
 - b) Lze použít s nebo bez zpoždění linky.
- 2) Pokud přístroj nelze kalibrovat na tlustřákové referenční standardy, použijte se delší zpoždění linky nebo jiný nástroj, a znovu se zkalibruje.
- 3) K přípravě tohoto postu se používají podélné vlny snímačů.
 - a) KBA Alpha 15MHz 6,4mm průměr krystalu s 7,6mm, zpožďovací linka, rautkrämer LNE.
 - b) Dual Element Transducers (speciálně vyrobený pro T-MIKE jednotka E). Četnost a rozměry krystalu nejsou specifikovány.
 - c) 5MHz 6,4mm průměr krystalu s 10,7mm zpožďovací linkpu, Panametrics (Olympus)

D. Referenční standardy

- 1) Pro kalibraci je potřeba použít bloky (etalony) vyrobené ze stejného materiálu (hliník, ocel, atd.), jako část která má být měřena.

POZNÁMKA

Pro díly, které jsou více než 2,54mm tlusté, doporučujeme referenční standard, který je stejný jako slitiny, které mají být měřeny. Různé slitiny mohou mít různé zvukové rychlosti. Rozdíl v rychlosti mezi referenčním standardem a částí, která má být měřena může způsobit nesprávné hodnoty.

- 2) Vytvořte referenční standard s nejméně dvěma tloušťkami, jeden tlustší a jeden tenčí než jsou měřené části. Tenčí musí být v minimální přípustné tloušťce (plus 0% až minus 25%). Tlustší musí být tloušťky (plus 0% až 25) než je ve výkresu.

E. Vazebné prostředí

- 1) Ultrazvukové vazebné prostředí se používá, jelikož nepoškodí strukturu. Komerční tuk nebo olej se může použít v případě, že je zařízení kalibrováno podle části 4.

2. Příprava pro inspekci

A. Zjistit druh materiálu a zajistit přístup ke kontrovanému povrchu.

B. Odstraňte barvy, nátěry a nečistoty, je zapotřebí získat čistý, hladký a holý inspekční povrch. Je-li možný přístup, udělejte to samé i z opačné strany.

POZNÁMKA

Pokud nemůžete odstranit barvy nebo laky, doporučujeme použít přístroj a nástroje pro S-scan displej. Viz část 4, 51 -00-00, Obr. 2.

C. Zjistěte tloušťku dílu, která se bude měřit, ze schválených výkresů, spolu s minimální a maximální přípustnou tloušťkou.

3. Kalibrace přístroje

POZNÁMKA

Odkazuje na výrobce přístroje a manuál pro kalibraci. Kalibrační úpravy mohou být rozdílné pro různé nástroje, takže není možné zařadit všechny pokyny pro kalibraci jednotlivých nástrojů do tohoto procesu.

- A. Připojte správně snímače do přístroje.
- B. Zapněte nástroje a proveďte nezbytné úpravy stanovené manuálem přístroje.
- C. Naneste vazebné prostředí na referenční standard, který má být použit při kalibraci.
- D. Přiložte snímač na referenční standard, který je tenčí, než je minimální povolená tloušťka poškozených částí, které mají být přezkoumány.
- E. Nastavte přístroj (navigačními klávesami nebo jinými dostupnými ovládacími prvky) tak, aby byla správná hodnota tloušťky (plus nebo minus 0,03mm) na referenčním standardu.
- F. Přiložte snímač na referenční standard, který je silnější než skutečná tloušťka zkoumaného dílu, který má být přezkoumán.
- G. Nastavte přístroj (navigačními klávesami nebo jinými dostupnými ovládacími prvky) tak, aby byla správná hodnota tloušťky (plus nebo minus 0,03mm) na referenčním standardu.
- H. Ujistěte se, že máte správné hodnoty tloušťky z tenkého tak i tlustého referenčního standardu. Pokud se nedostanete ke správným hodnotám, vraťte se zpátky k části 4. A a proveďte kalibraci přístroje znovu.

4. Postup inspekce

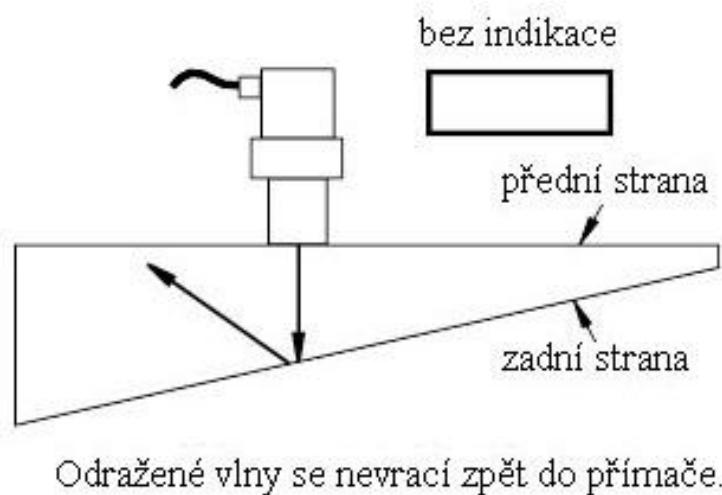
- A. Proveďte kalibraci přístroje, jak je uvedeno v části 4.
- B. Naneste vazebné prostředí na zkoumaný povrch, pak přiložte snímače na stejné místo.

- C. Sledujte na digitálním displeji hodnoty tloušťky a porovnávejte tloušťku s údaji na výkrese součásti.
- D. Proveďte více než jedno měření tloušťky na každé části, aby se zabránilo chybám.
- E. Po měření očistěte kontrolované oblasti.

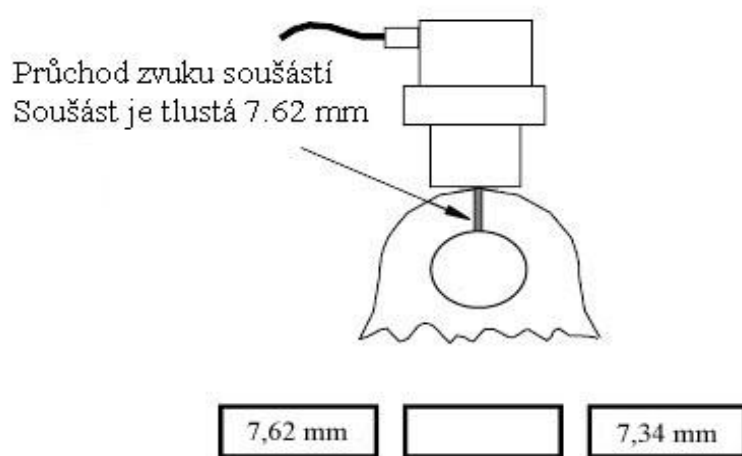
5. Výsledky inspekce

- A. Díl, jehož hodnota tloušťky není rovnocenná s údaji v dokumentu nebo platných výkresech pro tento díl, je třeba zkoumat podrobněji.
- B. Chyby v hodnotách tloušťky mohou být způsobeny změnami v geometrii anebo substrukturou dílu. Obrázek B. 1 definuje možné podmínky, které mohou nastat s takovým dílem. Některé z těchto podmínek mohou znemožnit nebo způsobit nesprávné měření tloušťky. Některé z těchto inspekčních podmínek jsou následující:
- 1) Část, která nemá rovnoběžný přední a zadní povrch, nebude mít změřitelnou hodnotu tloušťky, podrobnosti - obrázek B.1.
 - 2) Nepravidelný povrch na opačné straně (vrypy, opotřebení nebo jiné poškození) může podat nesprávné nebo žádné údaje měření tloušťky materiálu, jak je uvedeno na obrázku B.2.
 - 3) Prohloubení nebo promáčknutí povrchu na přední části můžete zabránit kontaktu mezi snímačem a zkoušeným dílem. To může způsobit nesprávné nebo žádné hodnoty měření tloušťky materiálu, jak je uvedeno na obrázku B.3. Sonda snímače typu tužka - obrázek B.3, se doporučuje pro tyto podmínky.
 - 4) Snímače nepřilehnou celou plochou k součásti s ohledem na zakřivení plocha (například: malý průměr oka), tak může být obtížné získat správné veličiny z měření tloušťky - obrázek B.4.
 - 5) Barva, tmel, průchodky nebo jiné součástky, na zadní části povrchu mohou způsobit nesprávné hodnoty měření, viz obrázek B.5, přístroj může zobrazit tloušťku oka a pouzdra nebo oka, pouzdra a čepu.
- C. Použijte pro měření tloušťky přístroj, který má A -Scan displej, zkontrolujte a určete hodnoty tloušťky, které jsou považovány za nesprávné.

6. Obrázky

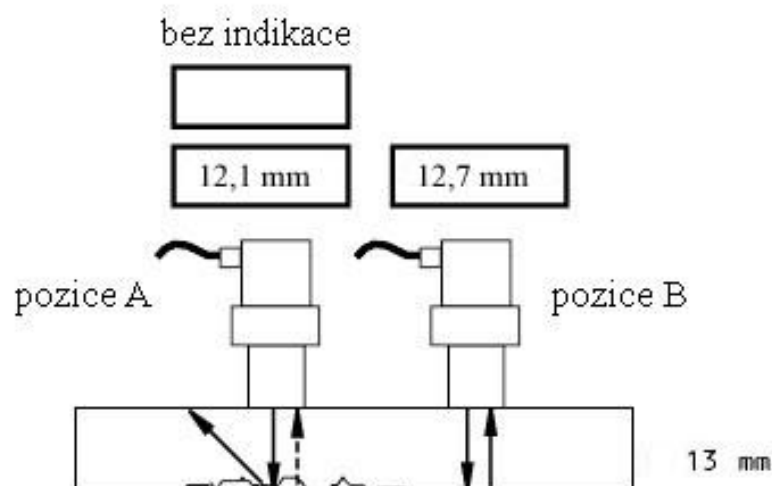


Obrázek B.1



Na displeji se může hodnota neustále měnit mezi hodnotami tloušťek uvedených.
Pouze část snímače se dotýká součásti.

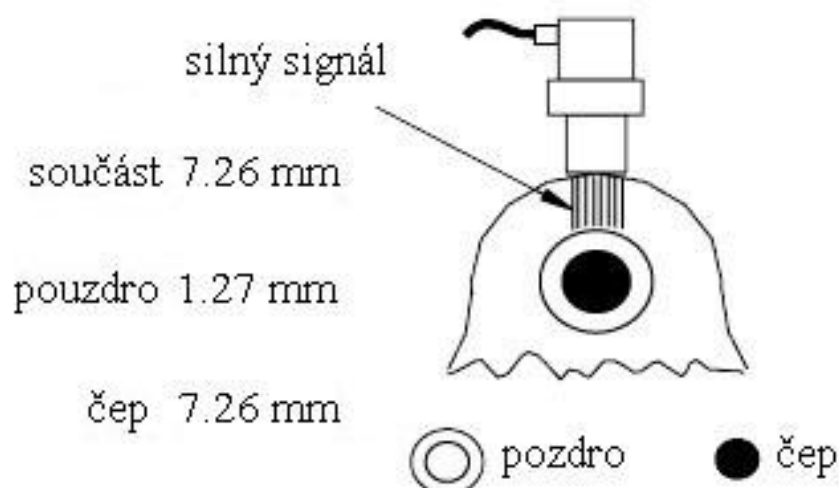
Obrázek B.2



Nepravidelný povrch druhé strany může mít za následek nesprávné změření hodnot tloušťky nebo nedosažení výsledku.

Hladký povrch, jako na pozici B zaručí správné měření.

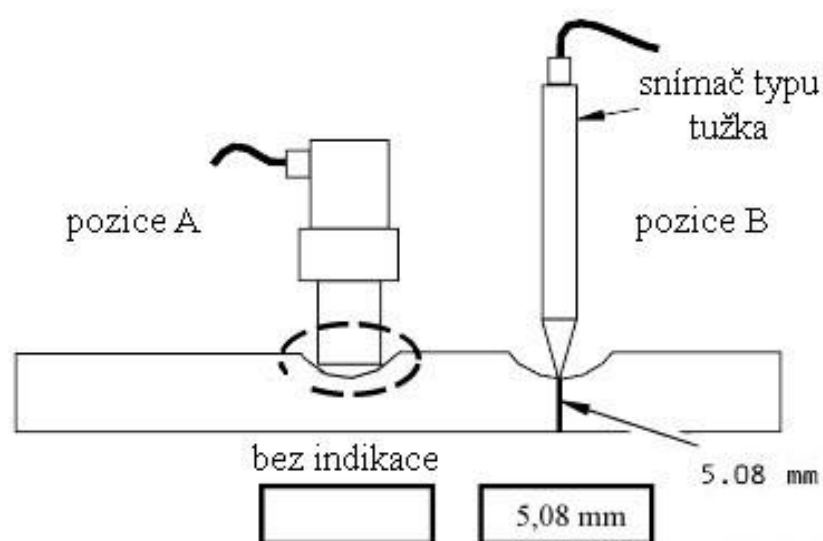
Obrázek B.3



Silné vlny se mohou odrazit a slabé jsou absorbovány pouzdrům a čepem.

Na displeji se může neustále měnit hodnota uvedené tloušťky.

Obrázek B.4



Mezera mezi snímačem a součástí na pozici A, zabrání získání výsledků tloušťky.
 Tužka sonda se plně dotýká součásti na pozici B a výsledky tloušťky jsou správné.

Obrázek B.5

Příloha C:

BOEING - NDT

Kapilární (penetrační) kontrolní metody

Úvod

- A. Pokyny v této příručce říkají, jak postupovat při údržbě od jednoduchých kontrol pro generální opravy.
- B. Odkaz na definice standardních postupů, jména a adresy dodavatele, z důvodu vysvětlení a použití přesných označujících symbolů.
- C. Údaje jsou obecné. Nejedná se o návod použitelný za všech situací. Je použitelný jako průvodce, který vám pomůže určit si minimální standardy.
- D. Jde-li díl do generální opravy, liší se údaje pro opravu od údajů v této příručce, použijte proto pokyny pro generální opravu.
- E. Tento manuál je rozdělen do jednotlivých sekcí:
 - 1) Obecně
 - 2) Materiály
 - 3) Vybavení
 - 4) Postup operací
 - 5) Chemické čištění
 - 6) Příprava povrchu
 - 7) Použití penetrantu
 - 8) Odstranění nežádoucího penetrantu
 - 9) Sušení
 - 10) Použití vývojky
 - 11) Kontrola dílů
 - 12) Čištění dílů po kapilární inspekci

1. Obecně

- A. Při kapilární zkoušce se používá vlastnost kapaliny, která zaručí vniknutí do vady, která je otevřena na povrch. Kapalina je aplikována na povrch a nechá se vsáknout do trhlin. Přebytková kapalina se odstraní z povrchu, ale část tekutiny zůstává v defektu. Vývojka zaručí vytažení kapaliny ven z vady tak může být viděna. Fluorescenční penetranty jsou zkoumány pod ultrafialovým světlem.
- B. Penetranty jsou obvykle používány na barevných kovech, ale mohou být použity i na všech druzích kovů, keramiky, skla a plastů. U některých speciálních slitin nebo plastů, musí být použity bezpečnostní opatření, aby se zabránilo poškození součástí.
- C. Penetrační kontrolní systém je oblast, používající průnik materiálů společně s kontrolou. Tyto systémy jsou uváděny do skupin podle typu průniků, vylučovací metody, typu vývojky a úrovně citlivosti. Podrobnosti o systému jsou uvedeny v tabulce C.1.
- D. Poslední revize seznamu způsobilosti výrobku na AMS 2644 poskytuje úplný seznam všech schválených materiálů. Jiné materiály mohou být použity, pokud by byly schváleny a přidány do tohoto seznamu.
- E. V každém kontrolním systému se smí použít pouze materiály od jednoho výrobce. Nekombinovat materiály od jednoho výrobce s materiály od jiného výrobce, jen pokud budou výsledky testů uspokojivé.
- F. Pokud není uvedena v návodu úrovně citlivosti pro kapilární kontrolu, využijte data z tabulky C.2 ,ta udává minimální úrovně citlivosti. Vyšší úrovně citlivosti mohou být použity nestanoví-li jinak instrukce pro generální opravy.

Tabulka C.1: Kapilární Třídění podle BSS7039 a QPL AMS 2644

Typ průniku	Popis
1	Fluorescenční barvivo
2	Viditelné barvivo (ne pro let. díly)
Kapilární metoda	Popis
A	Vodou omyvatelný
B	Stabilní emulgátory

C	Rozpouštědly odnímatelný
D	Stabilní emulgátory, hydrofilní
E	Voda omyvatelný, na vodní bázi
Úroveň citlivosti	Popis
1 / 2	Velmi nízká
1	Nízká
2	Střední
3	Vysoká
4	Velmi vysoká
Forma vývojky	Popis
a	Suchý prášek
b	Rozpuštěn ve vodě
c	Vodní suspenze
d	Tekuté bezvodé typu 1
e	Tekuté bezvodé typu 2
f	Speciální aplikace
g	Bez vývojky
Třída rozpouštědla	Popis
1	Halogení plyn (éter)
2	Bez halogeních plynů
3	Speciální aplikace

Tabulka C. 2: Výběr Kapilární úrovně citlivosti QPL-AMS-2644

Typ	Úroveň	Použití
1	1	Odlitky, jiné než přesné nebo titanové a díly vyrobené z těchto odlitků.
1	2	Všechny materiály a výrobky, které nejsou uvedeny pod jinou úrovní citlivosti.
1	3	Přenosná Metoda C inspekce oblastí možných škod a místní oblasti oprav let. součástí.
1	4	Jak bylo uvedeno v pokynech pro

		generální opravy.
2	Nelze použít	Kontrola pozemního odbavování nebo podpora zařízení, nástrojů a nářadí.

G. Výběr penetrantu pro kovové díly

- 1) Není-li stanoveno jinak, použijte úrovně citlivosti dle tabulky C.2
- 2) Vyšetření hliník-lithiových slitin pouze penetrační Metodou B nebo Metodou D.
- 3) Penetrační Metoda C může být použita k analýze místních oblastí.
- 4) Na díly, které budou obsahovat kapalný kyslík, a které nemohou být řádně vyčištěny po vyšetření, použijte penetrační Metodu E.

H. Výběr penetrantu pro nekovové a kompozitní díly

- 1) Ujistěte se, že kontrolní materiály nepoškodí povrch. Kontrola materiálů nesmí způsobit trhliny, popraskání, jímky, lept, nebo obarvení.
- 2) Fenolické a ekvivalentní plasty mohou být všechny bezpečně zkoumány penetrační metodou Typ 1.
- 3) Nekovové materiály mohou být přezkoumány penetračními metodami Typ 1 a Metodou E.
- 4) Teflon a plasty na stejné bázi mohou být přezkoumány penetračními metodami Typ1, Metodou E.
- 5) Při zkoumání plastů není nutné použití vývojky. Použijete-li Metodu E, jako vývojku použijte pouze suchý prášek.

I. Nepoužívejte viditelné penetranty. Použijete-li viditelné penetranty před použitím fluorescenčních penetrantů na té samé součásti, dojde k tomu, že směs těchto dvou různých penetrantů zabrání viditelnosti vady. Tato směs může v trhlíně zatvrdnout a nelze jí pak odstranit obvyklými postupy čištění.

2. Materiály

A. Chemické leptání

- 1) Hydroxid sodný ne formě vloček nebo pelet v technické formě
- 2) Kyselina dusičná (20% roztok)

- 3) Dusičné roztoky fluoridů, pro leptání titanu
- 4) Kyselina chlorovodíková (koncentrovaná)
- 5) Kyselina fluorovodíková (koncentrovaná)
- 6) Kyselina fluorovodíková (70% roztok)
- 7) Hydrogendifluoridu amonný

B. Penetranty ± QPL a AMS 2644 nebo úplný seznam schválených přípravků. Jiné materiály mohou být používány, pokud budou schváleny a přidány do tohoto seznamu.

C. Mastné oleje ± TT-N-95 (SOPM 20-60-01)

D. Rozpouštědla ± TT-T-291 stupeň I (SOPM 20-60-01)

3. Vybavení

A. Konstrukce penetračního kontrolního zařízení musí být provedena tak, aby minimalizovala možnost kontaminace vodou, prachem a nečistotami. Při použití rozpouštědel, odstraňovačů a vývojek, které nejsou založeny na vodní bázi nebo jsou ve formě sprejů musíme zajistit dobré odvětrávání.

B. Pro inspekci černým světlem.

- 1) Použijte žárovky vyzařující světlo v rozsahu 320-400 nanometrů, tak aby připadalo minimálně 1000microwattů na čtvereční centimetr ve vzdálenosti 38cm od žárovky nebo filtru
- 2) Zkouška intenzity černého světla:
 - a) Týdenní - pokud je intenzita vyšší než 1500mikrowattů na čtvereční centimetr v minimální vzdálenosti 38cm.
 - b) Denní - pokud je intenzita 1000-1500microwattů na čtvereční centimetr v minimální vzdálenosti 38cm.
- 3) Intenzita černého světla na povrchu součásti - tabulka C.3.

Tabulka C.3: Typ 1 Inspekce Light Požadavky

Denní světlo	Kontrolní podmínky	Minimum černého světla [W/cm ²]
0-2 ramenný svícen (0-20 luxů)	Inspekce tmavé oblasti s vývojkou	1000
0-2 ramenný svícen (0-20 luxů)	Inspekce tmavé oblasti bez vývojky	3000
Více než 2 ramenný svícen (20 luxů)	Mírné osvětlení s vývojkou	5000

4. Postup operací

- A. Kapilární metodou se zkoumají díly po tepelném zpracování, svařování, konečné obráběcí operace, nebo jiné operaci, která by mohly způsobit poruchy nebo je vynést až na povrch.
- B. Kapilární metodou se zkoumají díly před povrchovými úpravami, ke může povrchová vada způsobit kontaminaci, která nemůže být odstraněna nebo způsobí problém s penetrací. Některé z těchto operací jsou:
- 1) Použití konverzních povlaků jako anodování, chemické ošetření, chromátování, a pasivac
 - 2) Vyklepávání
 - 3) Impregnace, pokovování, lakování a aplikace pevných filmu maziva
 - 4) Abrazivní čištění, tryskání, broušení, leštění, hlazením, honování a broušení. Pro strojní opracování platí, že se kontrolují po obrábění, ale před konečným broušením.
- C. Je-li povrch konverzní (anodování, chemické ošetření, chromátování nebo pasivací), není nutné odstraňovat tuto povrchovou úpravu před kapilární zkouškou, pokud existuje vysoké penetrační pozadí.
- D. Je-li povrch pokoven, použijte chemické leptání podle odstavce 5. odstraňte minimálně 0,0002cm od povrchu.

E. Nezkoumejte penetrační metodou tepelně upravené povrchy, pokud nejsou jiné pokyny pro generální opravy.

F. Odstraňte impregnace, pokovování, barvu, nebo pevné mazací filmy před kapilární zkouškou.

5. Chemické čištění

A. Použitím tohoto postupu se chemicky odstraní barvené a jiné nánosy je-li to nezbytné.

B. Pokud je to nutné aby se zabránilo změnám důležitých rozměrů nebo děr s malou tolerancí, je třeba je zakrýt páskou nebo záslepkou před leptáním. Tuto ochranu lze odstranit po leptání a před kapilární zkouškou.

C. Pro hliníkové slitiny

1) Roztoky

UPOZORNĚNÍ

Tyto chemické látky jsou velmi žíravé a jedovaté. Nedýchejte výpary nebo aerosoly. Vyvarujte se kontaktu s očima, kůží nebo oblečením. Když mícháte tyto chemikálie s vodou, vždy přidávejte chemikálie do vody ne naopak. Nepřidávejte vodu do koncentrované chemikálie, protože voda se začne vařit a sloučenina může explodovat.

a) Metoda 1 - udělejte roztok 10g hydroxidu sodného v 90ml vody z vodovodu.

b) Metoda 2 - přidejte 10ml koncentrované kyseliny fluorovodíkové a 15ml koncentrované kyseliny chlorovodíkové do 90ml vody z vodovodu.

2) Pečlivě očistěte povrchy, odstraňte veškeré mastnoty, oleje, špíny a dalších znečištění.

3) Naneste roztok na plochy na dobu 2-5 minut. Dávejte pozor, aby se roztok dostal do narušení povrchu. Toto řešení umožní leptání a vznik tzv. černých sazí.

4) Opláchněte plynulým proudem vody.

5) Odstranit černé saze 20% roztokem kyseliny dusičné.

6) Opláchněte plynulým proudem vody. Tento krok je velmi důležitý, protože roztok působící na mezi krystalické povrchu a může způsobit korozi.

- 7) Naprosto suchý povrch, zajistíme horkým vzduchem, buďto ručně nebo v sušičce.
Povrch musí být úplně suchý před použitím penetrantu.
- 8) Je-li výše zmíněné leptání nedostatečné opakujte proces znovu.
- 9) Nechte vychladnout povrch před testováním penetranty.

6. Příprava povrchu

- A. Díly, které mají být vyšetřeny, musí být čisté, suché, bez mastnoty, oleje, broušení, rzi, kyseliny nebo zásady, tavidla, nánosů kovu, barvy (základní, krycí), nebo jiného materiálu, který by mohl skrývat vady a vyústit v relevantní údaje, nebo které budou zasahovat do šetření.
- B. Pokud nátěry byly odstraněny, nebo byli chemicky leptané, musí být součásti opláchnuty a sušeny před kapilární zkouškou. Ujistěte se, že se chemikálie nenacházejí mimo povrch. Je-li otvor chráněn páskou nebo záslepkou, odstraňte tuto ochranu před kapilární zkouškou.
- C. Pečlivě omyjte vodou a usušte díly, které byly čištěny kyselinami nebo zásady. Chemické látky a vlhkost musí být odstraněny. Chemické látky v trhlině, mohou reagovat s kapilárními látkami a zabránit správné indikaci vad. Čištění ultrazvukem může pomoci.
- D. Plocha musí být zcela suchá před testováním penetranty. Pokud si myslíte, že je vlhkost ve vadě, zahřejte povrch na 1078 °C, čímž by se měla vlhkost bezpodmínečně odstranit. Povrch pak ochlaďte ledem na 388 °C nebo méně.
- E. Je doporučeno odstranit maziva ložisek a demontovat je před kapilární inspekcí. Pokud nebudou ložiska nebo jejich části dostatečně zakryty nebo demontovány, může dojít ke kontaminaci penetračních látek.

7. Použití penetrantu

- A. Než začnete, ujistěte se, že teplota testovaných dílů je 4 °C – 498 °C.
- B. Podle druhu černého světla, použijte vrstvu penetrační látky na všech zkoumaných plochách. Můžete použít penetrační sprej, tampony, polévání kapalinou, nebo namáčením dílů v kapilární kapalině.
- C. Nedovolte, aby se penetrant shromažďoval v otvorech, výklencích či kapsách. Dejte díl do stojanu nebo ho obraťte. Je nutné nechat penetrant působit rovnoměrně na všech plochách.
- D. Hodnoty času pro průnik penetrantu do vady:
- 1) Olejová báze, vodou omyvatelné penetranty 10 minut
 - 2) Post-emulgovatelné penetranty 20 minut
 - 3) Rozpouštědlem omyvatelné penetranty 20 minut
 - 4) Vodí báze, vodou omyvatelné penetranty 10 minut
- E. Tyto časy jsou použitelné pro průnik za teplot 15 °C – 498 °C.

8. Odstranění nežádoucího penetrantu

- A. Po vypršení času pro průnik penetrantu, omyjte zbytky penetrantu z povrchu proudem vody, emulgačním sprejem na vodní bázi nebo rozpouštědlem, podle použitého penetrantu. Udělej to pod černým světlem s intenzitou, 100microwatts za čtvereční centimetr na minimální pracovní ploše a viditelné světlo nesmí být silnější než od 10 ramenného svícnu. Toto umožní vidět zbývající penetrant pouze u vady. Dávejte pozor, aby jste neodstranili příliš penetrantu nebo nebudete moci najít vady.
- B. Odstraňte nežádoucí penetrant než uschne, pozdější odstranění zaschlého penetrantu je obtížné.
- C. Vodou omyvatelný penetrant
- 1) Opláchněte proudem vody a odstraňte nežádoucí penetrant při teplotě 10 °C – 388 °C při maximálním tlaku vody 40 psi.

D. Pro emulgovatelný penetrant s hydrofilním odstraňovačem. Použijte jeden z těchto postupů:

POZNÁMKA

Emulgování začíná, když je emulgátor nebo odstraňovač na dílech. Proto musí být díly pokryt co nejrychleji.

1) Ponořte díl do odstraňovače.

- a) Opláchněte proudem vody a odstraňte nežádoucí penetrant při teplotě 10 °C – 388 °C při maximálním tlaku vody 40 psi.
- b) Dejte část do odstraňovače na dobu 3 minut. Promíchejte díly nebo odstraňovače, zatímco část je v odstraňovači.
- c) Opláchněte proudem vody - odstranění zbývajícího penetrantu při teplotě 10 °C – 388 °C při maximálním tlaku vody 40 psi.

2) Sprej pro odstranění.

- a) Opláchněte proudem vody pro odstranění nežádoucího penetrantu při teplotě 10 °C – 388 °C při maximálním tlaku vody 40 psi.
- b) Využijte vodní proud a hydrofilní odstraňovač, ten nesmí být silnější než 5% (0,25% je doporučeno).
- c) Opláchněte proudem vody - odstranění zbývajícího penetrantu při teplotě 10 °C – 388 °C při maximálním tlaku vody 40 psi.

E. Pokud jsou díly na automatické lince, nenechte proces zastavit s emulgátorem naneseným na povrchu. Pokud je doba emulgování delší, než je limit, díly se musí očistit, usušit a začne se znovu. Díly na automatické lince lze opláchnout bez černého světla, pokud je postup kontrolován, dostatečně je vypláchněte aby se odstranil přebyteční penetrant.

F. Pokud oplachujete vodou můžete způsobit korozi, použijte proto metodu C:

- 1) Otřete plochu čistým, suchým, hadrem co nepouští vlákna.
- 2) Potřete oblast čistým, hadrem co nepouští vlákna lehce navlhčeným v čističi schváleným QPL na AMS 2644. Otočte látku a použijte čistý povrch pro utření.
- 3) Pokud je penetrant odstraněn, okamžitě naneste velmi tenkou vrstvu vývojky, která není na vodní bázi.

9. Sušení

- A. Plochy musí být zcela suché před použitím suché vývojky nebo vývojky, která není založena na vodní bázi. Vývojka na vodní bázi musí být použita pokud je povrch vlhký.
- B. Sušte díly teplým vzduchem do 718 °C. Doporučená teplota je 498 °C. Nemáte-li k dispozici sušičku, ponechte uschnout díly na vzduchu nebo použijte ventilátor. Nesušte díly déle než 30 minut. Příliš vysoké teploty nebo příliš dlouhá doba sušení snižují citlivost penetrantu.
- C. Pro sušení a čištění plastových dílů použijte látku co nepouští vlákna nebo ekvivalentní stěrky.

10. Použití vývojky

- A. Vývojka musí být použita pro všechny díly, pokud pokyny pro generální opravy nestanoví jinak.
- B. Čas pro mokrou vývojku se měří od okamžiku, kdy je vývojka zcela suchá. Pro suchou vývojku se čas měří od okamžiku, kdy se nanese. Pro všechny vývojky, použijte minimálně 10 minut dlouhou dobu vývoje. Delší čas pro vývoj, může být potřebný pro některé typy defektů.
- C. Suché vývojky
 - 1) Prášek nebo sprej vývojky naneste na díly nebo jejich části a ujistěte se, že se dostal na všechny povrchy.
 - 2) Nesypte nebo nenanášejte příliš mnoho vývojky, neboť můžete tak zakrýt některé průniky, který indikují vady.
- D. Mokrý vývojky na vodní bázi a roztoky
 - 1) Ihned po odstranění nežádoucího penetrantu, naneste vývojku na povrchu nebo díly. Neaplikujte tuto vývojku štětcem. Ujistěte se, že se vývojka je nanесena jako souvislá vrstva, která pokrývá všechny povrchy, které mají být zkoumány.
 - 2) Nenechte vývojku shromažďovat se v kalužích či kapkách. Použijte nízký tlak vzduchu nebo odsávání nebo přesuňte díly.

- 3) Ihned po použití vývojky usušte všechny povrchy za pomoci teplého vzduchu podle odstavce 9.

E. Mokrý vývojky ne na vodní bázi

- 1) Protřepte a promíchejte plechovku s vývojkou ji před použitím.
- 2) Pro dosažení nejlepších výsledků a nejlepší citlivosti, je nezbytná hladká vrstva vývojky. Chcete-li získat tenké vrstvy, použijte vývojku ve spreji s velmi jemnou tryskou a neustále pohybujte sprejem. Dvě nebo tři tenké vrstvy jsou lepší než jeden silná.

11. Kontrola dílů

- A. Zkontrolujte části v temné komoře za pomoci černého světla – odstavec 3.
- B. Než začnete zkoumat pod černým světlem, počkejte minimálně 3 minuty než se vaše oči přizpůsobí na šero. Speciální pomůcky jsou dostupné u výrobce, které vám pomůžou zjistit, zda jsou vaše oči dostatečně přizpůsobené tmě.
- C. Nepoužívejte kontaktní čočky nebo brýle, které jsou polarizační, samozatmavovací nebo ekvivalentně citlivé na světlo. Pod černým světlem může tento typ brýlí snížit vizuální citlivost.
- D. Nedívejte se přímo do zdroje černého světla, nebo vaše oči budou fluoreskující a dočasně snížení vizuální citlivost. Správně filtrované černé světlo není nebezpečný pro oči, ale pokud je filtr vadný mohlo by proniknout nebezpečné ultrafialového záření od žárovky. Okamžitě vyměňte poškozený filtr.
- E. Prohlédněte povrchy tak pečlivě, jako vaše oči dovolí. To je praktický limit kapilární inspekce. Pokud to není dostatečně uspokojivé, stanovte návod a postupy k další kontrole, aby se ujistili.
- F. Pokud zkoumáte odlitky, které byly v provozu, odmítněte díly, pouze pokud mají známky trhlin nebo koroze způsobené dobou služby, pokud se jedná o generální opravu nebo pokyny služby bulletinu nehovoří jinak. Nezamítejte díly, pokud mají jen náznaky pórovitosti.

G. Odmítněte díly, které mají povrchové vady větší než povolené limity. Pokud limity nejsou uvedeny, odmítněte díly, které mají trhliny nebo pórovitosti, odkazují na BAC5423 pro bližší informace.

H. Je-li povoleno přepracování pokynů, opravy vad a provedení penetrační zkoušky dílu znovu, uvidíme jestli se stal díl provozuschopným.

12. Čištění dílů po kapilární inspekci

A. Vyčistěte přijaté díly během 4 hodin nebo méně po použití vývojky.

B. Kapilární materiály a penetranty, které zůstávají na povrchu mohou způsobit korozi nebo může být problém při pozdější kontrole a obrábění. Odstraňte zbývající vývojku takto:

- 1) Suchou práškovou vývojku odstraníte stlačeným vzduchem. Pokud je to nutné, použijte rozpouštědla.
- 2) Mokrou vývojku odstraňte kartáčem nebo otřete suchým hadříkem a opláchněte. Pokud je to nutné použijte rozpouštědla.

C. Po očištění dílů zkontrolujte pod černým světlem, aby jste se ujistili, že je všechen penetrant a vývojka odstraněny.

Příloha D:

Poškození opravená metodou PDR, která mají větší průměr než 10cm.



Obrázek D.1: Před opravou a po opravě



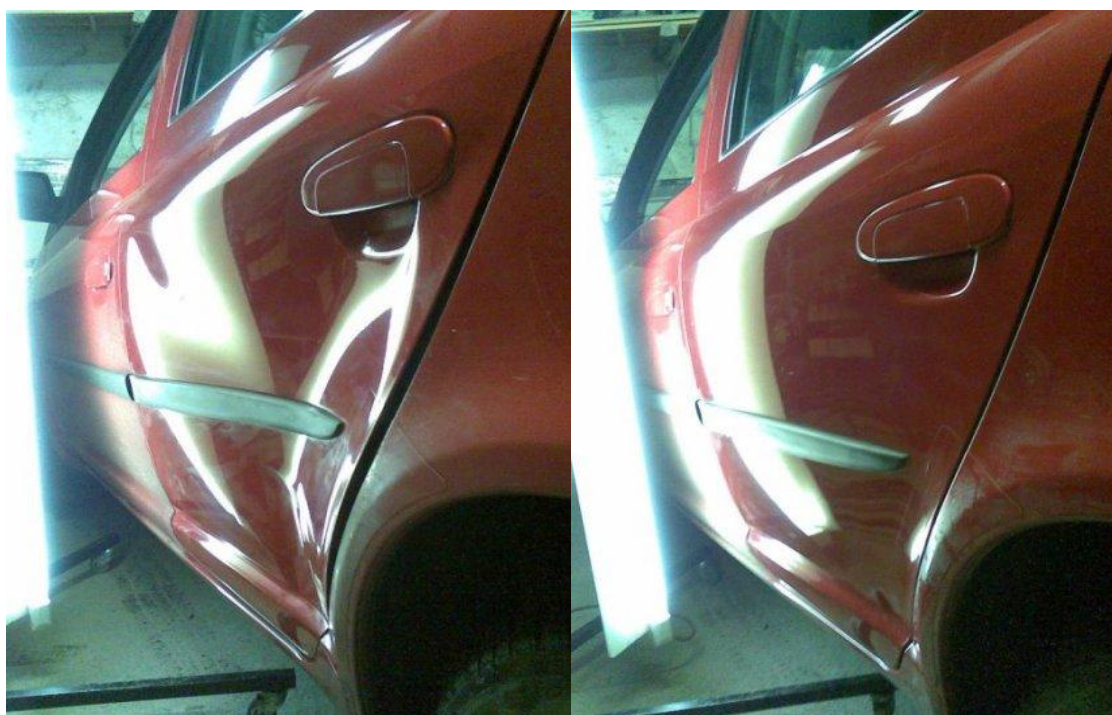
Obrázek D.2: Před opravou a po opravě

Příloha E:

Poškození opravená metodou PDR, která mají větší hloubku než 1/3 průměr.



Obrázek E.1: Před opravou a po opravě



Obrázek E.2: Před opravou a po opravě

Příloha F:

Potahový plech křídla Zlín Z 142 - ČSN 424400 - 62

Tabulka F.1: Chemické složení (%)

Materiál		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Jedn	Celk	Al
AlMg1Si1Mn	Min	0.7			0.40	0.7					zbyt
	Max	1.2	0.50	0.10	1.0	1.2	0.20	0.05	0.10	0.15	

Výrobek: Plechy, pásy, pruhy, kotouče

Tabulka F.2: Charakteristické vlastnosti a použití

Stav	Směr	Tloušťka [mm]		Rm [MPa]		Rp0,2 [MPa]		Tvrдость [HB]	
		od	do	min	max	min	max	min	max
.01	LT	6	10	100					
.11,.12	LT	0.2	10		150			30i	40i
.25,.21	LT	0.2	10	150		100		45i	55i
.35,.31	LT	0.2	10	180		145		50i	60i
.62	LT	0.2	6	210		120		50i	70i
.62	LT	6	10	210		100		50i	70i
.72	LT	0.2	6	270		215		70i	95i
.72	LT	6	10	270		215		70i	95i

Norma: ČSN 424400 Rok: 1981 Tato norma již neplatí (a byla zrušena a bez náhrady).

Příloha G:

Vyznačení míst v oblastech 1, 2, 3, který jsem prověřoval na výskyt trhlin před vytvořením dentů : 3 - jsou na náběžné hraně

2 - jsou na odtokové hraně

2 - na horní straně křídla

1 - na spodní straně u servisních dvířek



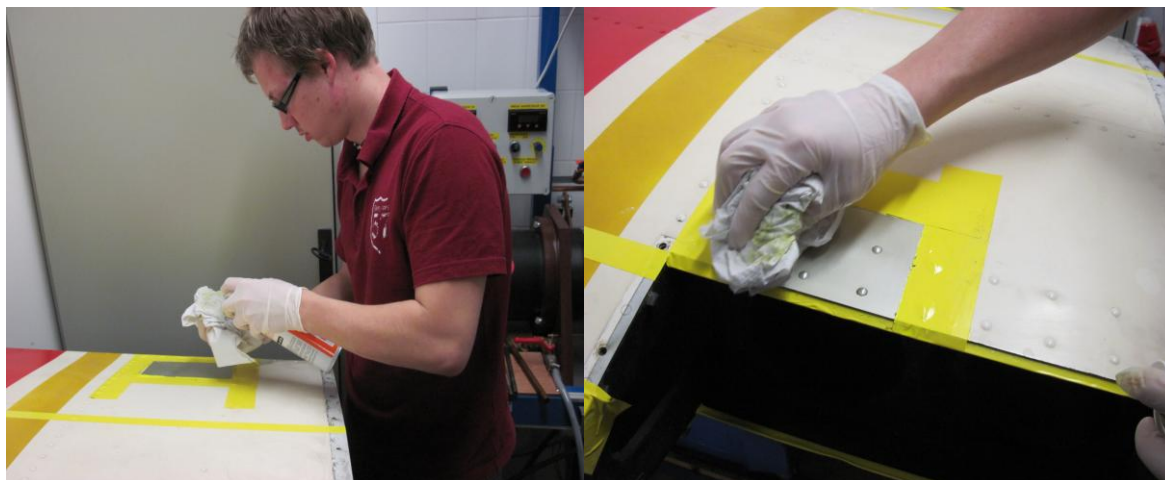
Obrázek G.1: Vrchní strana vzorku (část křídla Zlín Z 142)



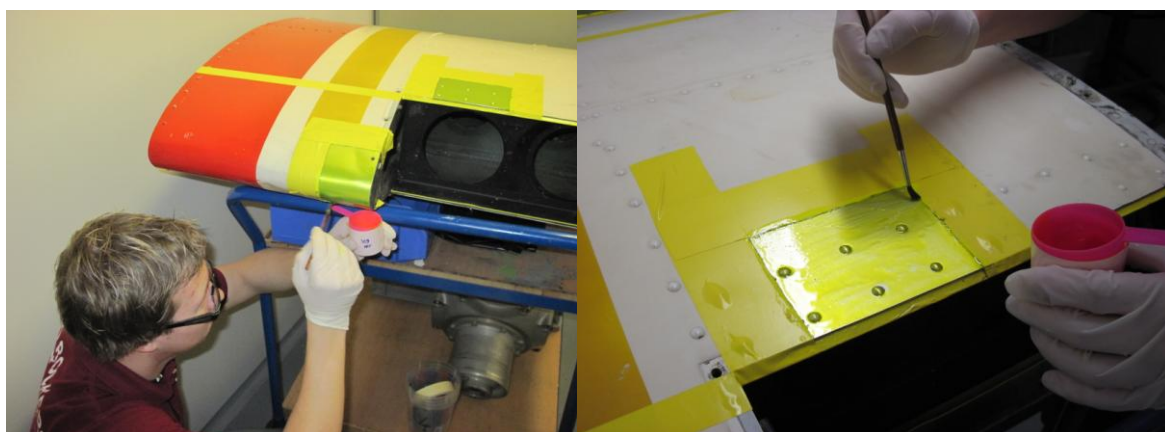
Obrázek G.2: Spodní strana vzorku (část křídla Zlín Z 142)

Příloha H:

Fotodokumentace penetrační zkoušky v místech 2, 3, 4, 7



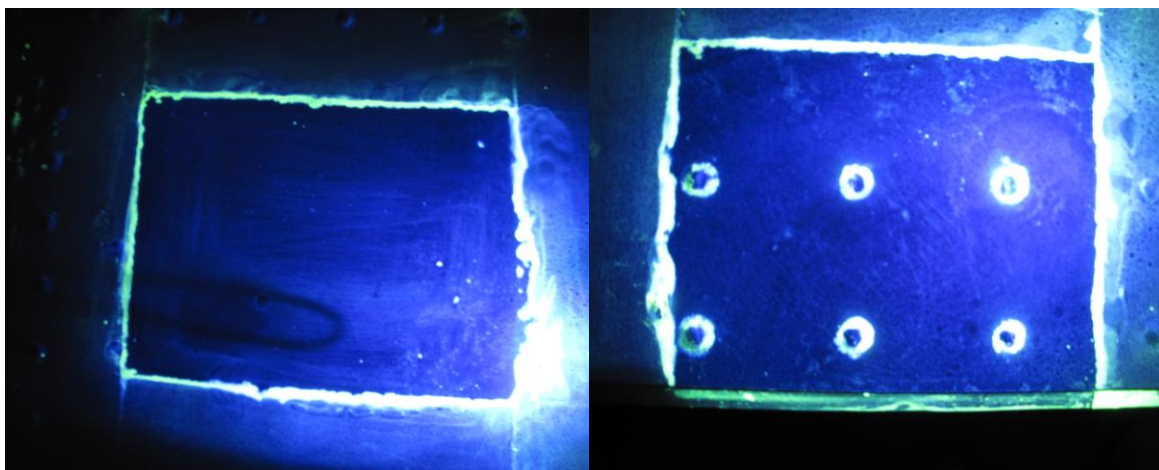
Obrázek H.1: Čištění a odmašťování testovaného povrchu



Obrázek H.2: Nanášení penetrantu



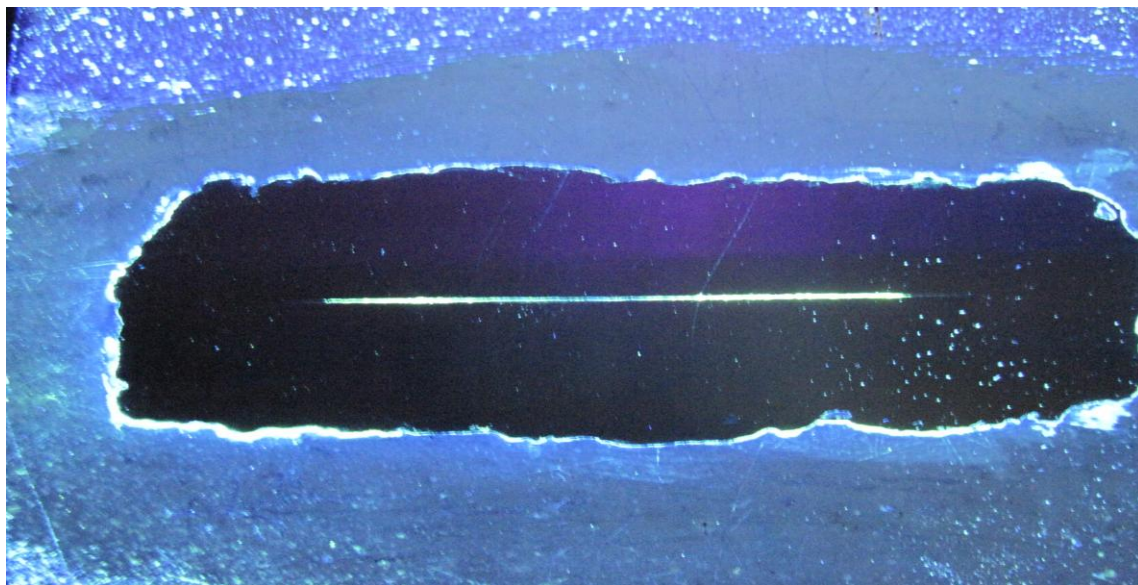
Obrázek H.3: Stav po nanesení vývojky (developer)



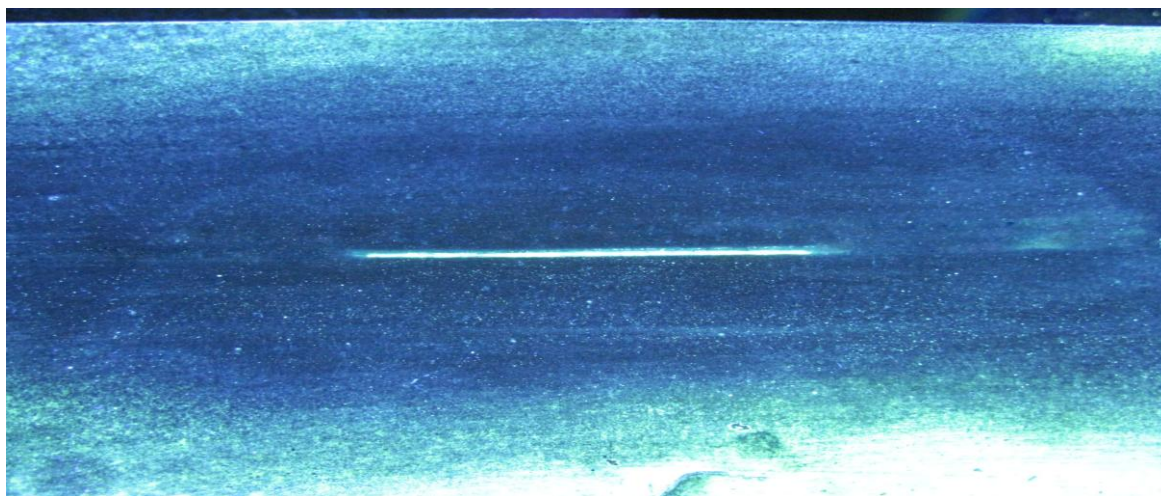
Obrázek H.4: Testovaný povrch pod černým světlem (zářivé části na fotografii jsou zbytky penetrantu, zachyceného na okrajích barvy a hlav nýtů, který se nepodařilo odstranit)

Příloha I:

Fotodokumentace uměle vytvořené trhliny z pokusu z kapitoly 6.3.9.



Obrázek K.1: Trhlina indikovaná penetrační zkouškou (viditelná pouhým okem)



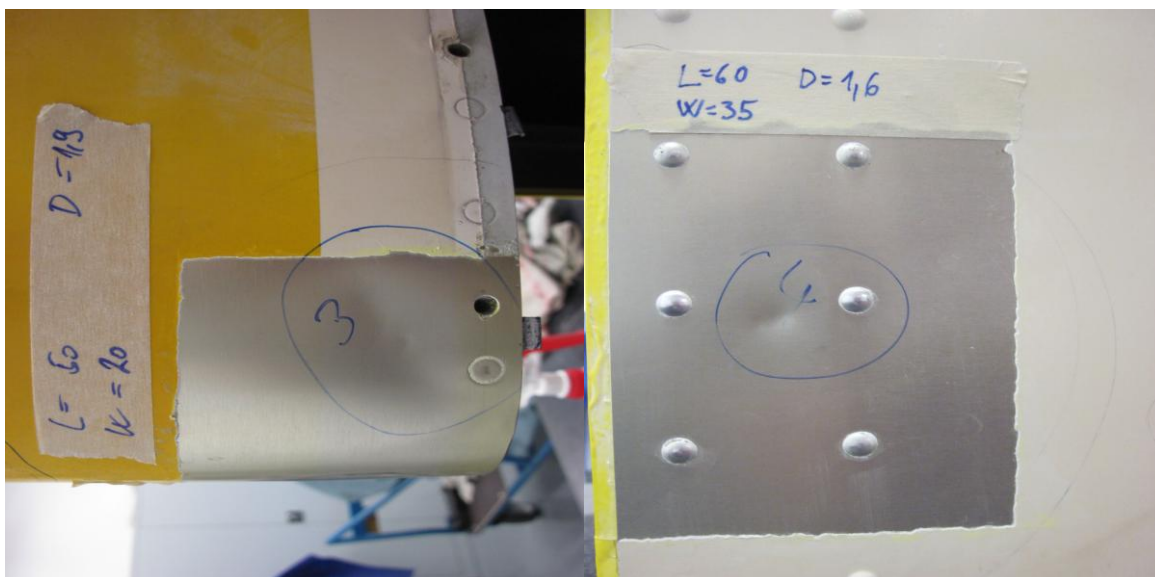
Obrázek K.2: Trhlina indikovaná penetrační zkouškou (viditelná pouhým okem)

Příloha J:

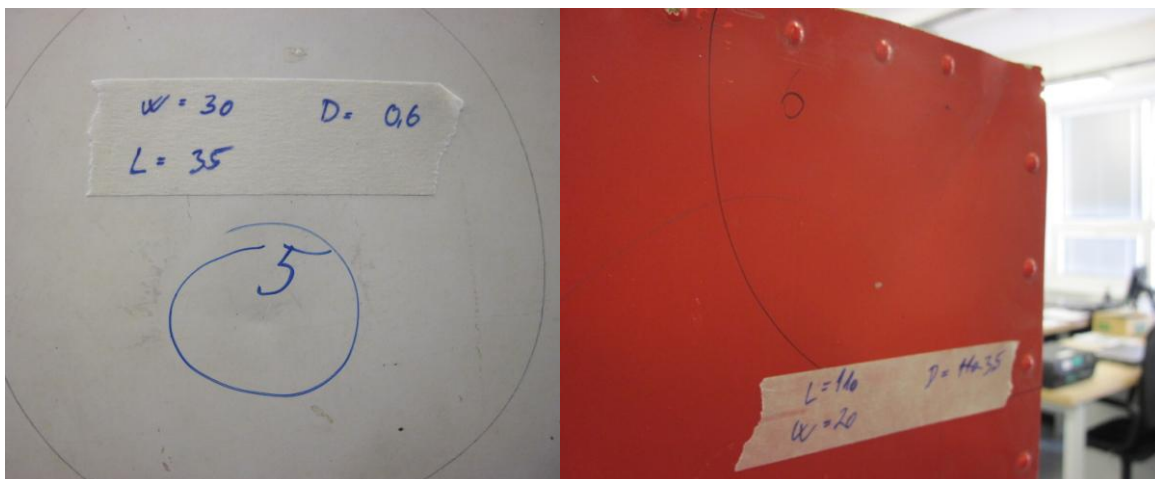
Fotodokumentace uměle vytvořených dentů na zkušebním vzorku. Denty byli vytvořeny prostřednictvím úderů plastovou, gumovou paličkou a kladivem.



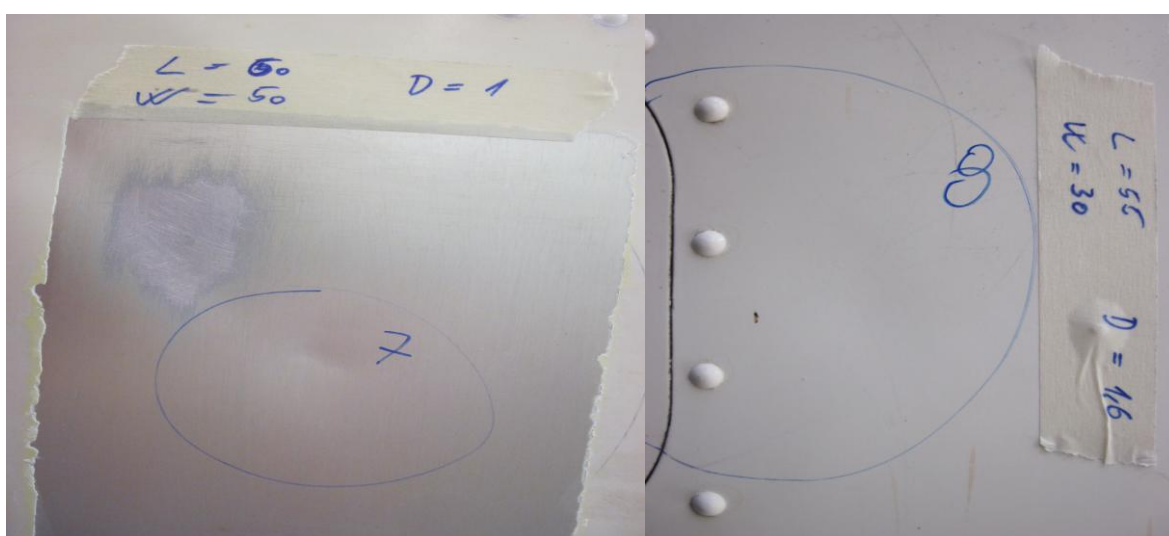
Obrázek I.1: Dent 1 a dent 2



Obrázek I.2: Dent 3 a dent 4



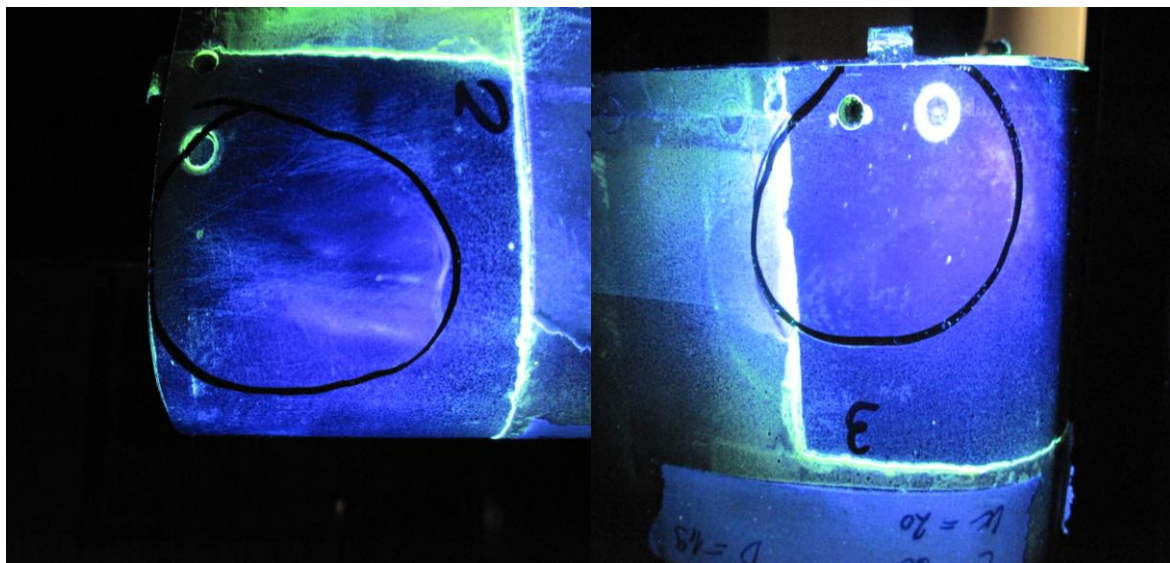
Obrázek I.3: Dent 5 a dent 6



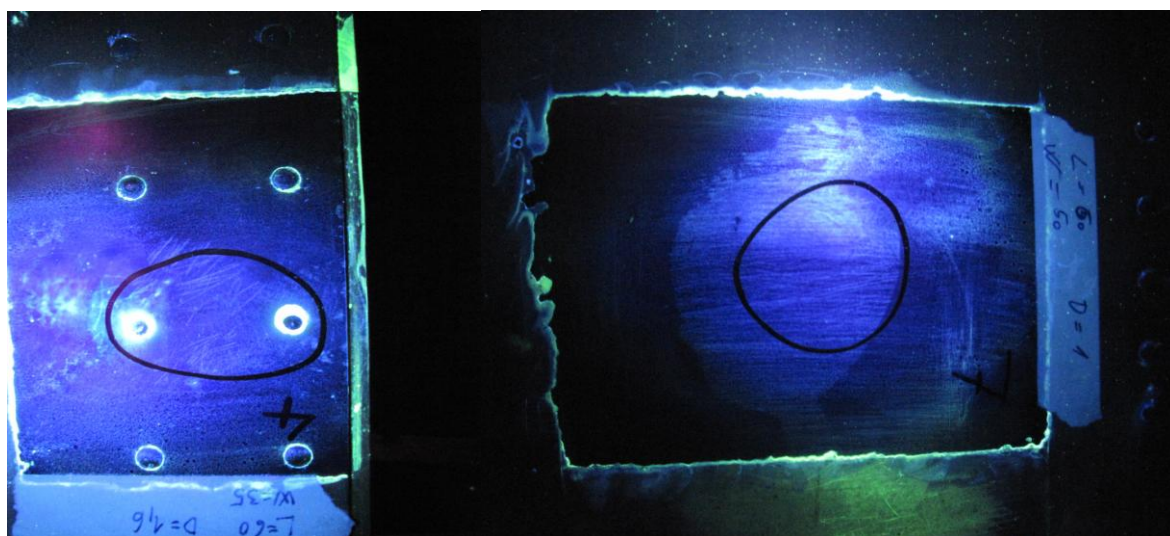
Obrázek I.4: Dent 7 a dent 8

Příloha K:

Fotodokumentace výsledku penetrační zkoušky na vytvořených dentech číslo 2, 3, 4 a 7.



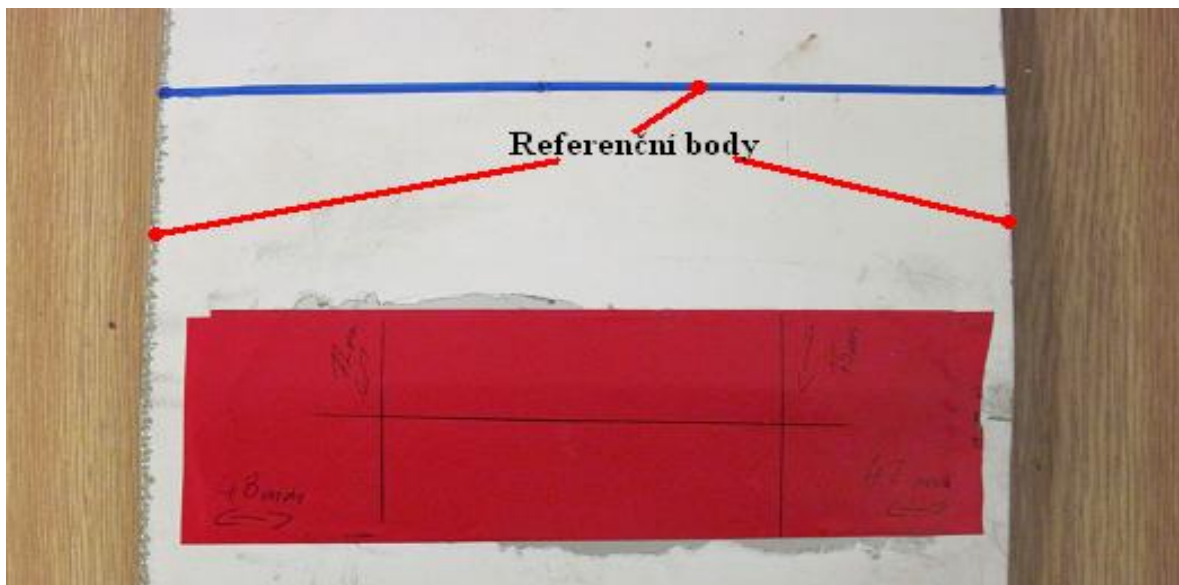
Obrázek J.1: Denty číslo 2 a 3 pod černým světlem, bez známek trhlin



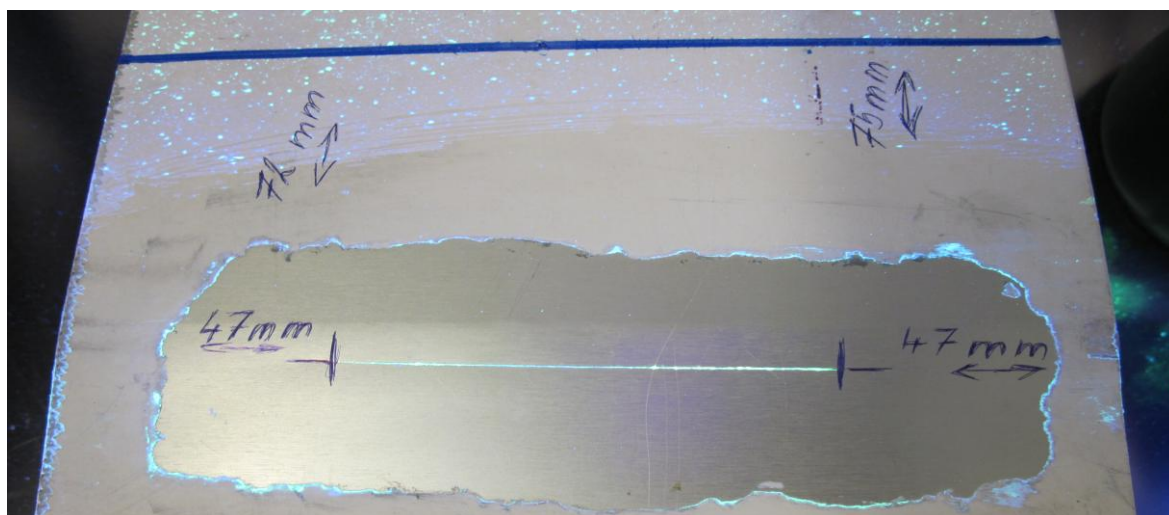
Obrázek J.2: Denty číslo 4 a 7 pod černým světlem, bez známek trhlin

Příloha L:

Fotodokumentace detekce a určování polohy trhlin pomocí NDT – vířivých proudů a penetrační zkoušky.



Obrázek L.1: Vzorek se zakreslenou trhlinou detekovanou pomocí metody vířivých proudů



Obrázek L.2: Vzorek s trhlinou detekovanou penetrační zkouškou (porovnání s obr. L.1)

Příloha M:

Příprava části křídla z letounu Zlín Z 142, za účelem vytvoření učební pomůcky pro nově zřízenou laboratoř Ústavu letecké dopravy. Z tohoto křídla jsem oddělil zkušební vzorek pro svou bakalářskou práci a odstranil část potahových panelů, aby byla zřetelně viditelná konstrukce tohoto křídla, pro studijní účely.



Obrázek M.1: Křídla z letounu Zlín Z 142 bez koncových nádrží



Obrázek M.2: Odstranění potahových panelů v kořenové části křídla (vrchní strana)



Obrázek M.3: Odstranění potahových panelů v odtokové části profilu křídla (vrchní strana)